

Etude de la crise de la pêche de la crevette en Guyane

Volume 1 : Effets de la pêche - hypothèses des causes



Pêche à la crevette et tri au large de Cayenne

SOMMAIRE

Introduction.....	2
CHAPITRE 1. Historique de la pêche crevette en Guyane.....	3
CHAPITRE 2. Hypothèses de travail.....	6
Partie 1 : Pêcherie à la crevette	
CHAPITRE 3. Calcul du recrutement et des biomasses.....	10
CHAPITRE 4. Distributions par sexes	17
CHAPITRE 5. Rejets et juvéniles.....	23
CHAPITRE 6. Données de production.....	26
CHAPITRE 7. Analyse spatiale des débarquements.....	30
CHAPITRE 8. Modèles.....	33
Partie 2 : Développement des hypothèses sur les causes	
CHAPITRE 9. Scénarios possibles	42
9.1. Effet de la pêche crevette elle-même	42
9.2. Dérive littorale des œufs et larves depuis l'AMAPA	44
9.3. Changement dans le réseau trophique - cas du Vivaneau (prédateur).....	47
CHAPITRE 10. Conclusions	49
BIBLIOGRAPHIE	50
GLOSSAIRE	52
ANNEXE : Analyse bio-économique de la pêche crevette	

Introduction

La pêche représente la troisième force économique en Guyane. Elle comprend trois secteurs : la pêche industrielle à la crevette, la pêche industrielle au Vivaneau et le pêche côtière, qui regroupe tous les petits navires disséminés sur les côtes guyanaises. La pêche crevette a connu une diminution de débarquements depuis 1999, et cette tendance s'est fortement accentuée depuis 2007. Les professionnels, inquiets de cet état de choses, se posent la question sur les causes de cette situation. Ce travail essaie de répondre à cette problématique avec le balayage de toutes les hypothèses, biotiques, abiotiques et liées à la pêche elle-même. L'analyse de la crise ne serait pas complète si la dimension économique n'était pas prise en compte. Une analyse bio-économique est ainsi proposée en annexe, sous forme d'un article.

Etant donné la dimension du travail, nous allons aborder l'étude en deux volumes. Le volume 1 abordera l'influence de la pêche elle-même sur l'état du stock, ainsi que quelques hypothèses de travail qui pourraient expliquer la raréfaction des crevettes sur le plateau de Guyane. Le volume 2 abordera les facteurs environnementaux et leur relation avec l'évolution du recrutement de la crevette.

CHAPITRE 1 : HISTORIQUE DE LA PECHE CREVETTIERE EN GUYANE

La pêche à la crevette en Guyane commence avec l'exploitation au début des années 1960 par des compagnies étrangères, et plus particulièrement par la flottille des Etats-Unis sur tout le plateau des Guyanes (figure 1.1). Suite à la création des zones économiques exclusives (ZEE) en 1978, il y a une gestion de cette pêcherie par la France, puis par la communauté Européenne. Les flottilles étrangères ont dû prendre des licences communautaires et respecter les TAC définis par celle-ci. Peu à peu s'opère la francisation de la flotte de pêche, processus qui s'achève en 1991.

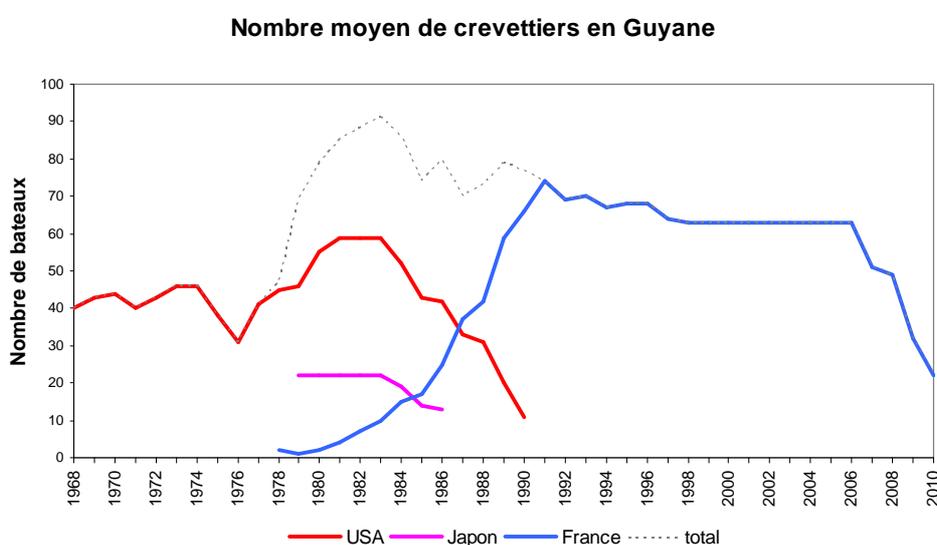


Figure 1.1 : Evolution du nombre moyen de crevettiers opérant dans les eaux guyanaises depuis 1968

La flottille française prend le relais des bateaux USA et japonais et atteint un plateau de 60 à 70 bateaux entre 1990 et 2005. Les faibles captures et les difficultés économiques (*cf.* annexe) des dernières années poussent les armateurs à arrêter leur activité ou à se regrouper en diminuant le nombre de bateaux en pêche. Les fortes hausses du prix du carburant sont également à l'origine des changements des zones de pêche du large pour des zones plus proches de la sonde de 30m, en-deçà de laquelle la pêche crevettière des espèces *Farfantepenaeus subtilis* et *F. brasiliensis* est interdite par arrêté préfectoral (figure 1.2).

Cette diminution dans le nombre moyen de bateaux crevettiers sur zone, se traduit par une diminution de leur effort en jours de mer et des débarquements (figure 1.3).

L'espèce principalement ciblée est la crevette brune, ou « brown » (*F.subtilis*). Elle représente plus de 85% des débarquements de crevettes à Cayenne. L'espèce *F. brasiliensis*, pêché plus au large et en limite Est de leur distribution spatiale, représente le pourcentage restant. Quelques crevettes « seabob » (*Xiphopenaeus kroyeri*), *F. notialis* et *Litopenaeus schmitti* peuvent être prises, mais à des faibles proportions (< 1%). Les crevettes seabob sont activement pêchées au Surinam et au Brésil sur des fonds inférieurs à 30 m.

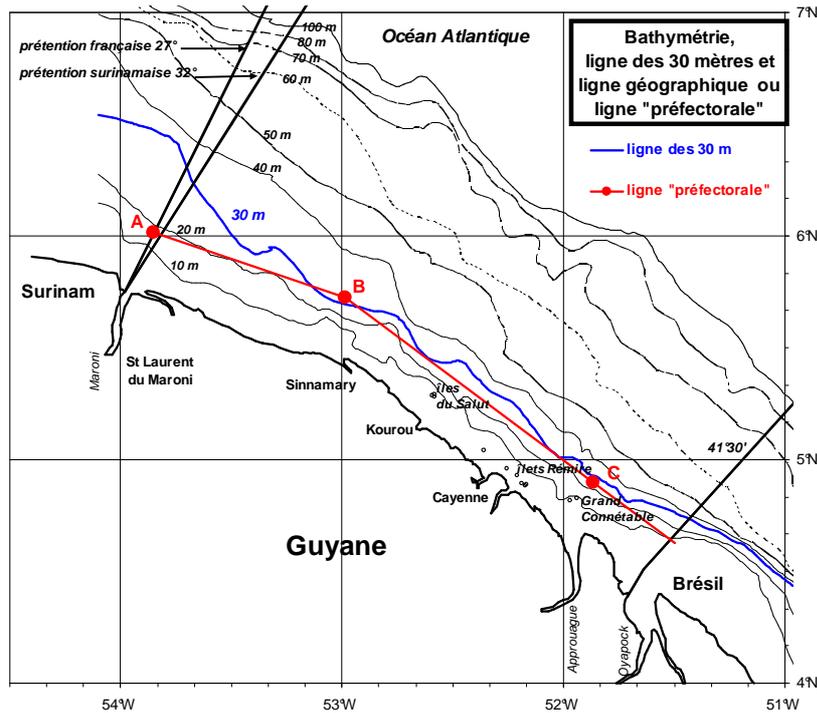


Figure 1.2 : Position de la ligne préfectoral avec interdiction de la pêche aux crevettes *F. subtilis* et *F. brasiliensis*

Evolution de la pêcherie de crevettes de 1968 à 2009

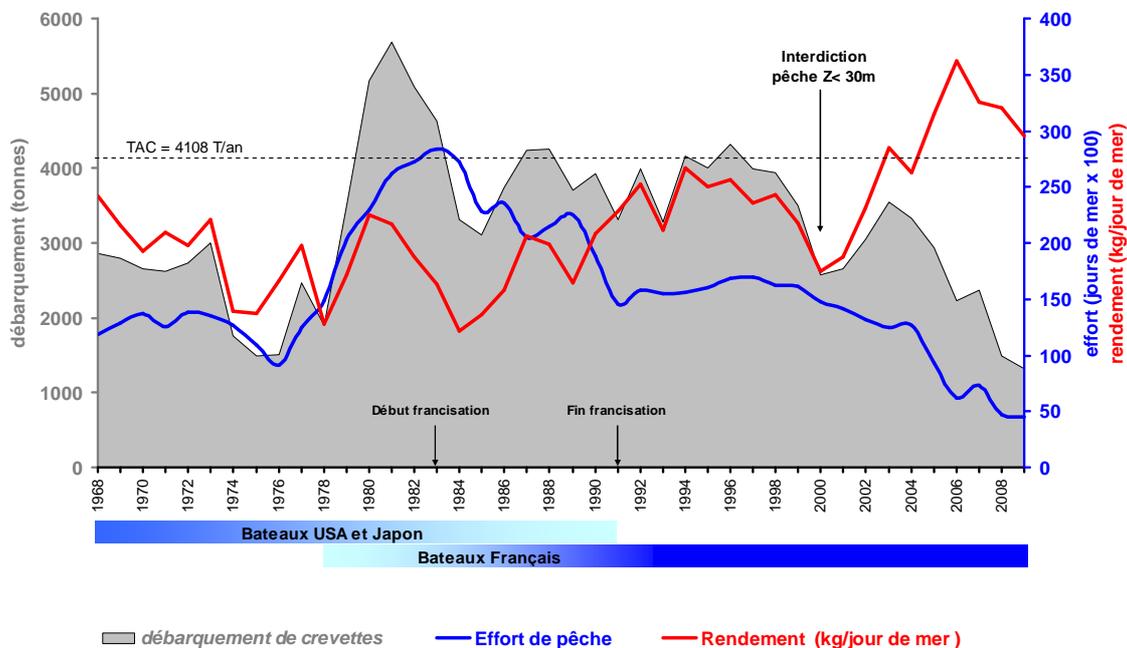


Figure 1.3 : Evolution des débarquements de crevette en Guyane, de leur effort et rendement depuis 1968

Des campagnes de pêche aux crevettes profondes du talus continental ont été menées dans les années 90, mais cet effort n'a pas eu de suite face à l'augmentation des coûts des carburants et les prix pratiqués par les producteurs des crevettes d'élevage sur le marché mondial.

La maille minimale autorisée est de 45mm étirée. Les zones de pêche guyanaises ont été divisées en quatre zones principales qui s'étendent de la côte et jusqu'à la limite de la ZEE (figure 1.4).

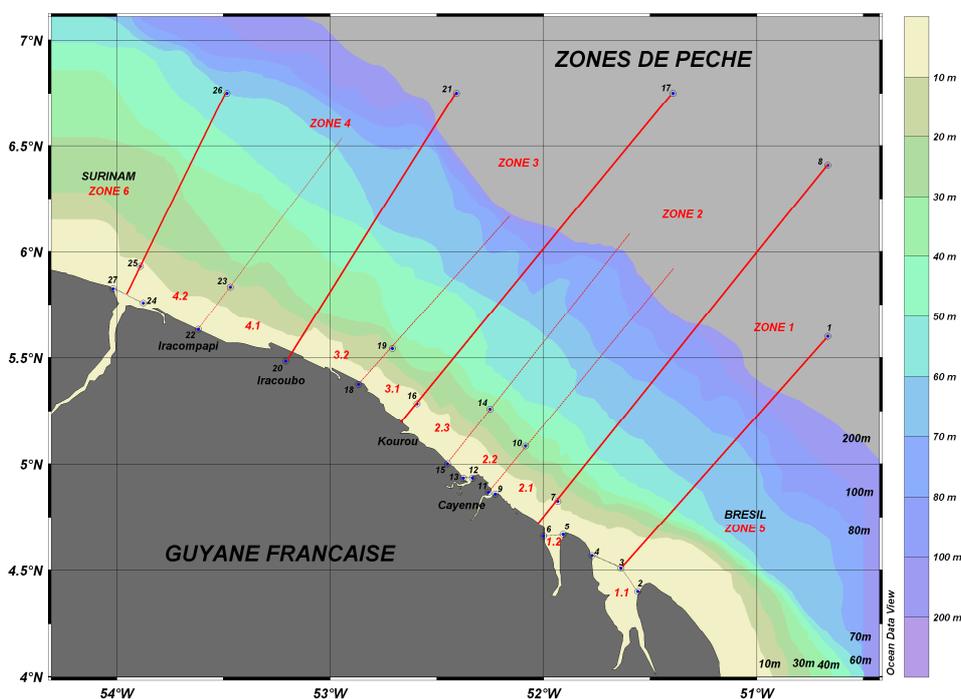


Figure 1.4 : Zones de pêche établies pour la saisie des données statistiques

Des mesures des échantillons de crevettes par taille et par sexe sont effectuées hebdomadairement par les observateurs de l'Ifremer au débarquement à Cayenne depuis 1989. Ces mesures sont à la base des évaluations annuelles du stock.

CHAPITRE 2 : HYPOTHESES DE TRAVAIL

Depuis 1999, le recrutement de crevettes, calculé par VPA montre une chute des effectifs. Ces faibles valeurs sont restées à des bas niveaux depuis, sans que l'on sache précisément quelle est le processus en cause (figure 2.1). Des nombreuses hypothèses peuvent être avancées. Nous allons décrire chacune d'entre elles, ce qui nous permettra de les vérifier d'une façon systématique par la suite.

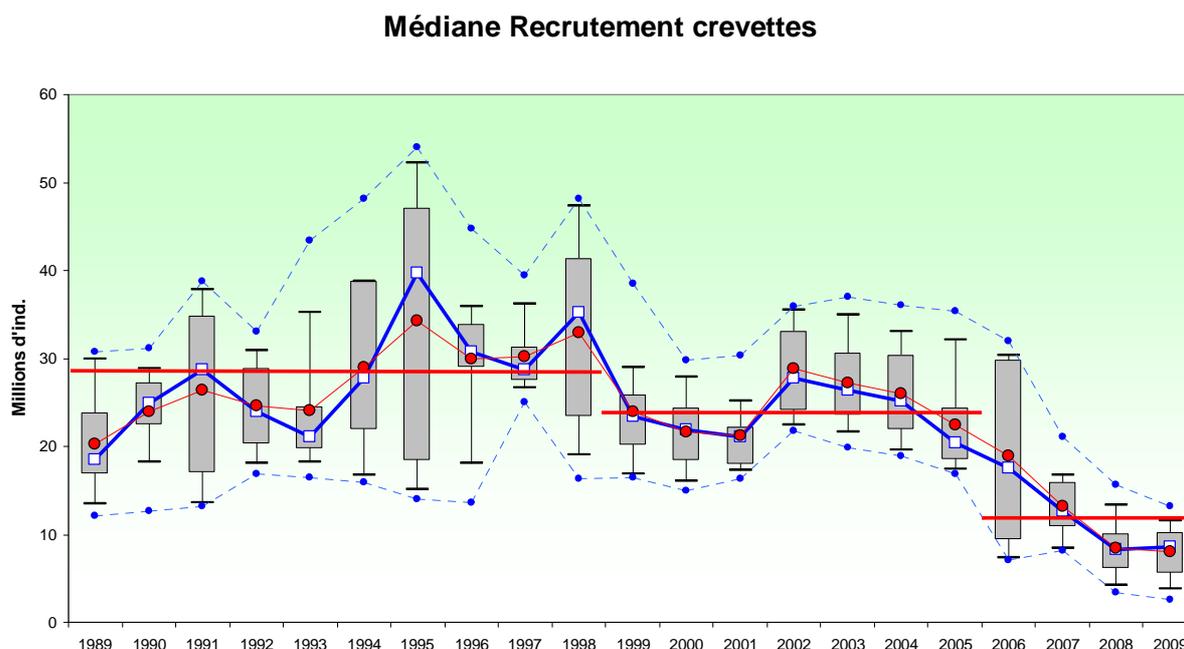


Figure 2.1 : Médianes des recrutements annuels et leur dispersion de 1989 à 2009 calculés par VPA avec les paramètres de croissance de l'Ifremer (Philippe Vendeville et al. 2008). Les lignes rouges horizontales représentent les moyennes des médianes annuelles pour trois périodes, 1989-1998 et 1999-2005 et 2006-2009. Les boîtes grises contiennent 50% des données. Son carrée bleu au centre représente la médiane de la série. Les traits horizontaux noirs limitent les 80% de données et les points bleus, les valeurs extrêmes de la série

Entre le moment de la ponte des œufs par les adultes, leur migration passive vers la zone côtière, leur séjour en nourricerie et le recrutement, nous allons balayer les phénomènes qui auraient pu agir sur la mortalité ou disparition des individus conduisant aux faibles recrutements observés (figure 2.2).

1.- Ponte des œufs :

Une mauvaise maturation (liée à des facteurs environnementaux défavorables) ou un problème de ponte (maladies par exemple) peut être à l'origine des faibles quantités des œufs et en conséquence influencer le recrutement qui doit avoir lieu quelques mois plus tard.

2.- Phase pélagique :

Après éclosion des œufs, les crevettes passeront par des différents stades de développement : œuf, nauplius, protozoé, mysis, post larve, juvénile et finalement adulte. Les phases de nauplius à post larve, sont des phases pélagiques, où les individus seront menés par les courants vers les nourriceries côtières. Lors de cette phase, les individus effectuent des migrations nyctémérales dans la colonne d'eau.

Les stades de nauplius I, II et III sont reconnaissables à leur taille (0.26 à 0.29 mm). Au stade nauplius IV et V, ils acquièrent leur carapace. Lors de la phase protozoé I, ils ont une taille de 0.69 mm et présentent un début de nage.

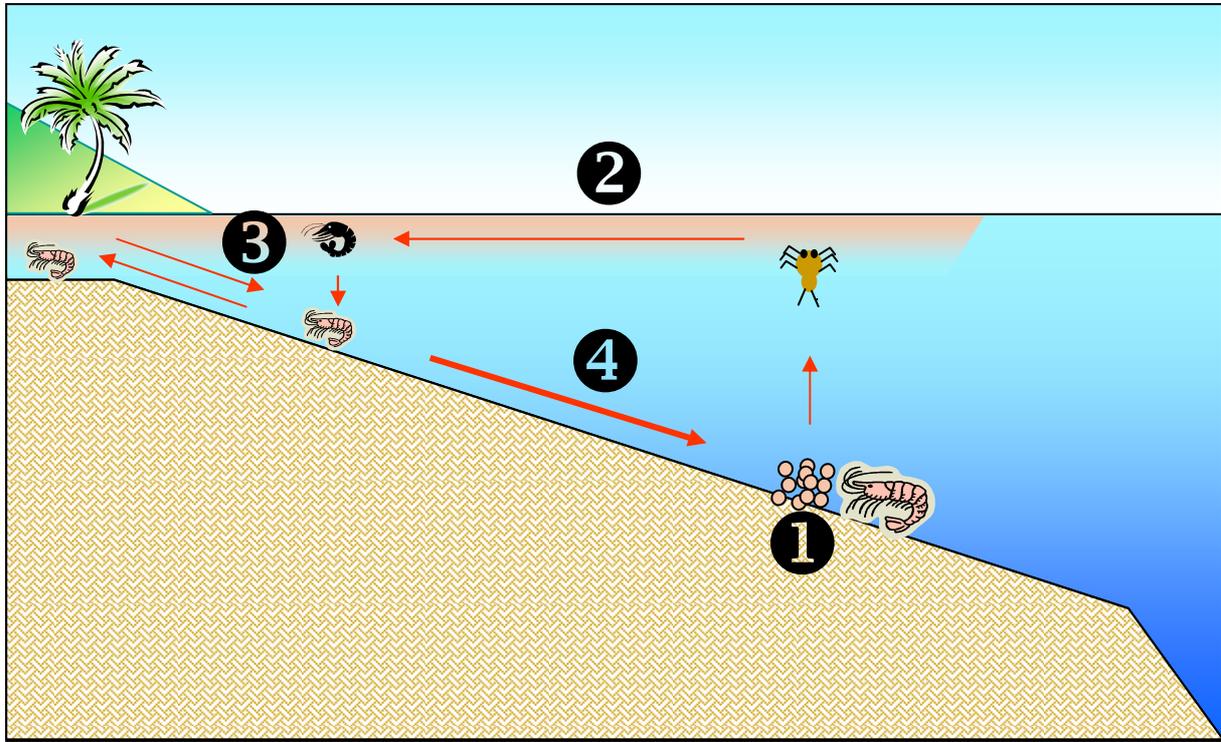


Figure 2.2 : Cycle de la crevette en Guyane et différentes phases où l'action de l'environnement peut avoir une influence sur leur développement et survie

Trois à quatre semaines sont nécessaires après l'éclosion pour que les post larves atteignent les nourriceries côtières. Lors de cette phase pélagique les raisons qui peuvent avoir une influence sur la survie ou la dispersion hors de la zone sont nombreuses :

- Vents défavorables
- Courants marins défavorables
- Prédation (zooplancton, poissons)
- Manque de nourriture (phytoplancton)
- Conditions hydrologiques hors seuils de tolérance (température, salinité, O₂, pH,....)

3.- Phase post larve – juvénile :

Lors de cette phase, il y a passage d'un mode de vie pélagique à épibenthique sur les nourriceries côtières. Les individus resteront dans ce nouveau milieu, environ 2 à 3 mois. Au profit des marées, ils pourront rentrer dans les estuaires et remonter une partie des fleuves en profitant du phénomène de coin salé, où ils feront des incursions dans la masse d'eau salée près du fond.

La zone côtière agissant comme nourricerie est une zone avec des forts contrastes hydroclimatiques que les individus devront subir, les poussant à s'en échapper si nécessaire pour arriver à l'âge adulte.

Lors de cette phase, les raisons qui peuvent avoir une influence sur la survie ou la dispersion hors de la zone sont nombreuses :

- Forte houle
- Courants marins défavorables
- Prédation (zooplancton, poissons, pêche)
- Manque de nourriture
- Conditions hydrologiques hors seuils de tolérance (température, salinité, pH,...)
- Apports fluviaux (contaminants, fortes dessalures,...)
- Maladies (virus, champignons, bactéries)
- Changement de la nature des sédiments
- Disparition ou changement de la mangrove

4.- Recrutement

Après avoir grossi jusqu'à une taille de 70 à 85 mm, les juvéniles quittent la nourricerie pour rejoindre le stock des eaux du large. Ceci arrivera environ 4 mois après la ponte et les individus auront une taille d'environ 115 mm LT.

Lors de cette migration vers les zones de stock, les problèmes que peuvent rencontrer les crevettes peuvent être :

- Prédation (poissons)
- Pêche
- Courants marins défavorables
- Conditions hydrologiques hors seuils de tolérance (température, salinité, pH, O₂...)
- Manque de nourriture
- Maladies

Les travaux réalisés par Vendeville entre 1989 et 1994 (Philippe Vendeville & Lhomme 1997) sur les estuaires guyanais, montrent la faible corrélation des phases lunaires sur les captures de post larves et de juvéniles.

Données nécessaires pour mettre en parallèle avec celles du recrutement :

- Température de la mer (satellite ?)
- Salinité marine et côtière (satellite? Atlas ?)
- Débit des rivières locales et de l'Amazone
- Vent (force et direction)
- Houle (hauteur et direction)
- Courants marins (force et direction – modèle, atlas, Mercator ?)
- Biomasse phytoplanctonique (satellite)
- Liste de prédateurs et leur évolution dans la même période
- Changements dans la nature des fonds (bancs de vase)
- Indice de changement de la mangrove
- Evolution du pH
- Maladies recensées

Dans ce premier volume, nous développerons les possibles effets de la pêche crevettière dans la crise biologique actuelle ainsi que la proposition de quelques hypothèses sur les processus sous-tendus qui pourraient conduire à cette situation.

PARTIE 1

ANALYSE DE LA PECHERIE A LA CREVETTE EN GUYANE

CHAPITRE 3 : CALCUL DU RECRUTEMENT ET DES BIOMASSES

Calculs de recrutements par VPA

Pour réaliser les évaluations de recrutements mensuels il est nécessaire de disposer des valeurs de paramètres de croissance de la population visée. Trois séries de valeurs de paramètres de croissance ont été utilisés pour les calculs des recrutements et du stock (tableau 3.1).

MALES

	Isaac	Doquin	Viera
Linf	41.05 mm	53.21 mm	51.76 mm
K	0.141 / mois	0.146 / mois	0.139 / mois
M	0.16	0.16	0.16
Finit	0.3	0.3	0.3
Nbre CA(mois)	12	7	7
1er CA(mois)	5	2	2
Dernière CA	16+ = 16 à 26	8+ = 8 à 17	8+ = 8 à 18

FEMELLES

	Isaac	Doquin	Viera
Linf	54.8 mm	66.79 mm	58.62 mm
K	0.088 / mois	0.149 / mois	0.173 / mois
M	0.15	0.15	0.16
Finit	0.3	0.3	0.3
Nbre CA(mois)	14	7	7
1er CA(mois)	4	2	2
Dernière CA	17+ = 17 à 23	8+ = 8 à 15	8+ = 8 à 17

Tableau 3.1 : Paramètres de croissance et de calcul des VPA utilisés

Les calculs de recrutements ont été menés sur la série de données 1989-2009 disponible à l'Ifremer. Le pas de temps utilisé est le mois et les calculs ont été accomplis avec un script développé au laboratoire BIODIVHAL de Guyane sous le logiciel « R ». Les procédures suivies sont détaillées dans le rapport « Mode d'emploi du Script R pour le calcul par VPA du nombre de recrues de crevettes et de leur biomasse » (Lampert 2011).

Recrutement en nombre d'individus :

Les résultats des recrutements issus de ces trois séries de coefficients de croissance mettent en évidence un fort écart dans l'estimation des recrutements selon les paramètres utilisés (figure 3.1).

Les recrutements obtenus à partir des paramètres de croissance de la Commission des Pêches de l'Atlantique Centre-Ouest, COPACO, (Isaac, 1992), sont sensiblement supérieurs aux valeurs obtenues avec les coefficients de Doquin et Viera (Philippe Vendeville et al. 2008). Ces deux dernières évaluations présentent une très faible différence et la même évolution temporelle.

Suivant le conseil émis par la COPACO (FAO report N°628, 2000), nous adopterons les valeurs de recrutement et des biomasses issues des calculs avec les paramètres de croissance des crevettes guyanaïses (travaux Ifremer de Viera, dans Vendeville et al. 2008).

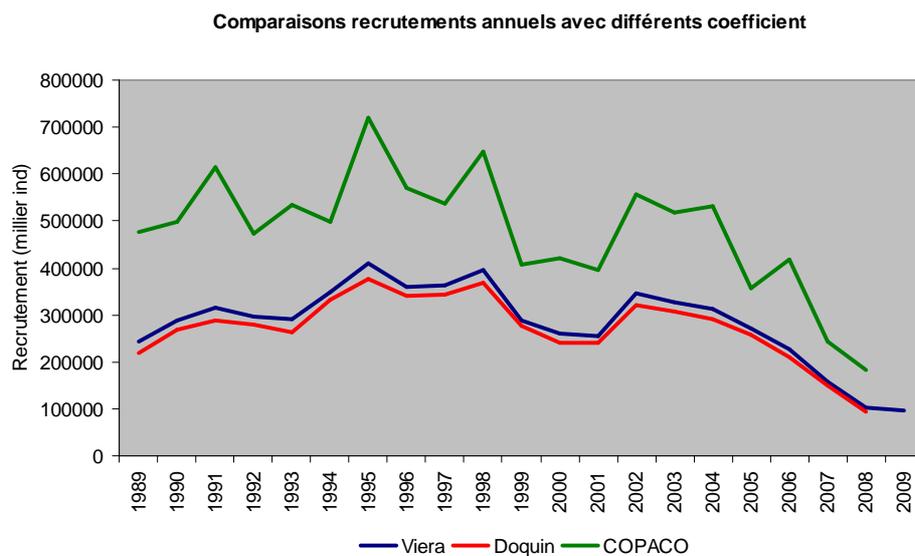


Figure 3.1: Evolution des recrutements totaux par an en fonction des paramètres de croissance utilisés

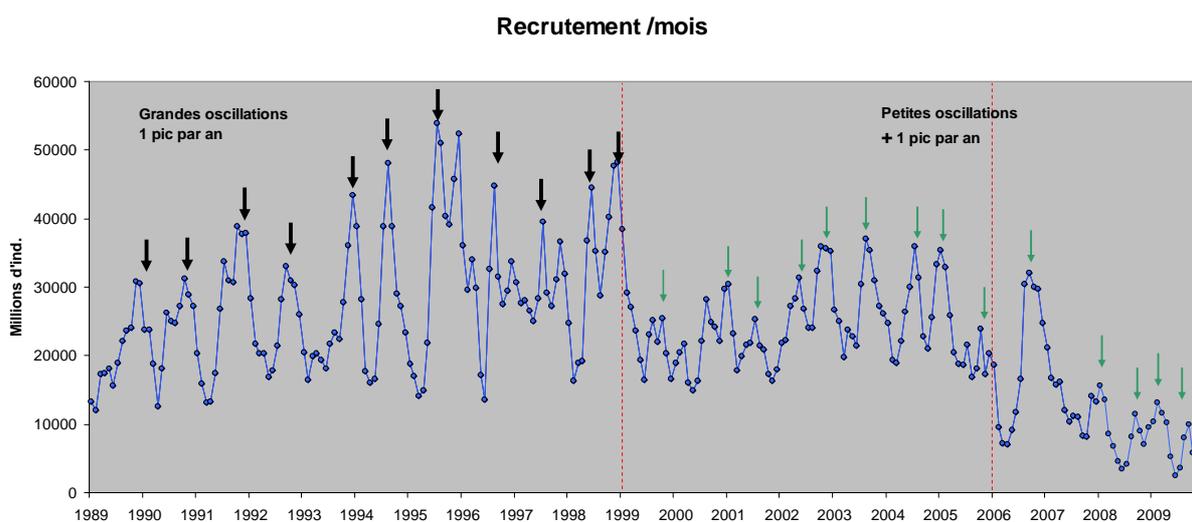


Figure 3.2 : Valeurs de recrutement de la crevette en Guyane obtenus par VPA (valeurs mensuelle) de 1989 à 2009

Nous distinguons trois périodes, une première qui s'étend de 1989 à 1998, où la valeur moyenne du recrutement est de 28 millions d'individus/mois, une deuxième période, de 1999 à 2005 où le recrutement des crevettes tombe à 20 millions d'ind./mois, et une troisième période, de 2006 à 2009, avec 12 millions d'ind./mois (figure 3.2). Les plus forts minima sont observés en 2008 et 2009 avec des valeurs inférieures à 4 millions d'ind./mois.

Pendant la première période nous observons de grandes oscillations dans le recrutement, avec une fréquence annuelle des maxima (décembre) et minima (mars-avril). Dans les périodes suivantes, ces oscillations deviennent irrégulières en fréquence, avec de plus faibles amplitudes (figure 3.3). Sur la figure 3.4., où sont portées les médianes de ces valeurs avec leurs dispersions, la disparition de la saisonnalité sur la période 1999-2009 est mise en évidence.

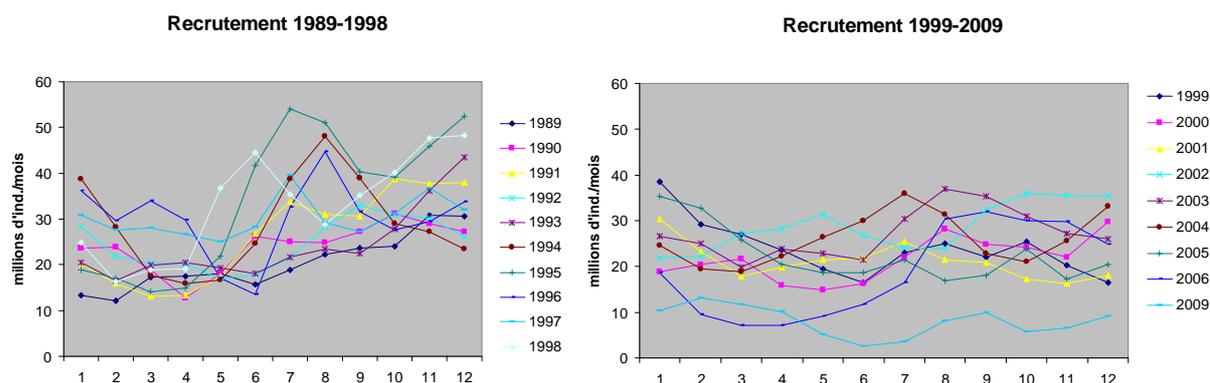


Figure 3.3 : Valeurs de recrutement en millions d'ind./mois pour les périodes a) 1989-1998 et b) 1999-2009

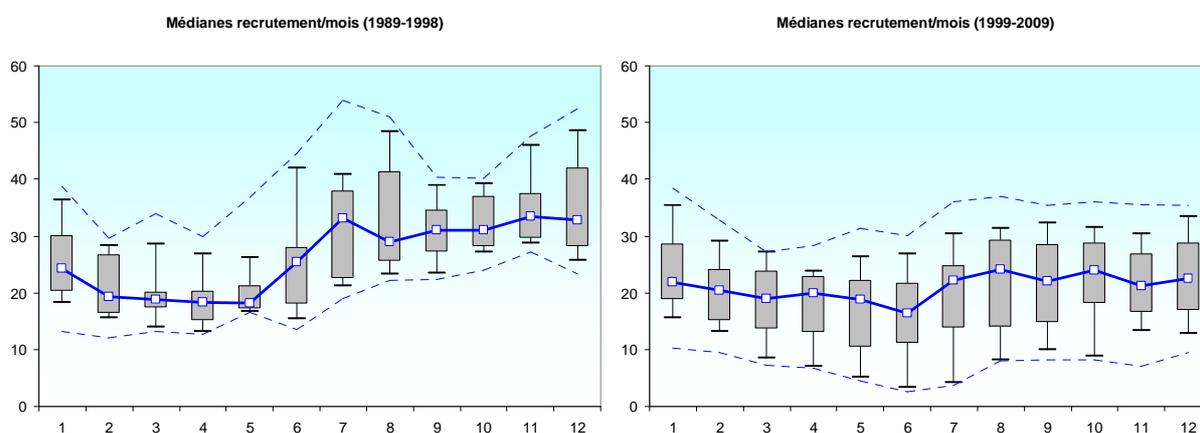


Figure 3.4 : Médianes de recrutement par mois (en millions d'ind.) et leur dispersion pour les périodes, 1989-1998 et 1999-2009

Recrutement en pourcentage :

Dans la figure 3.5, sont présentés les résultats de la figure 3.4 en pourcentage de recrutement mensuel sur l'année. L'allure de la courbe reste similaire pour la période 1989-1998. Pour la période 1999-2009, nous observons une évolution de la médiane comparable, mais avec une pente plus prononcée en début d'année. Dans la figure 3.6 est présentée l'évolution temporelle de ces pourcentages. Nous observons les plus forts pourcentages situés entre juillet et décembre, sauf lors des dernières années où ils se situent entre janvier et avril.

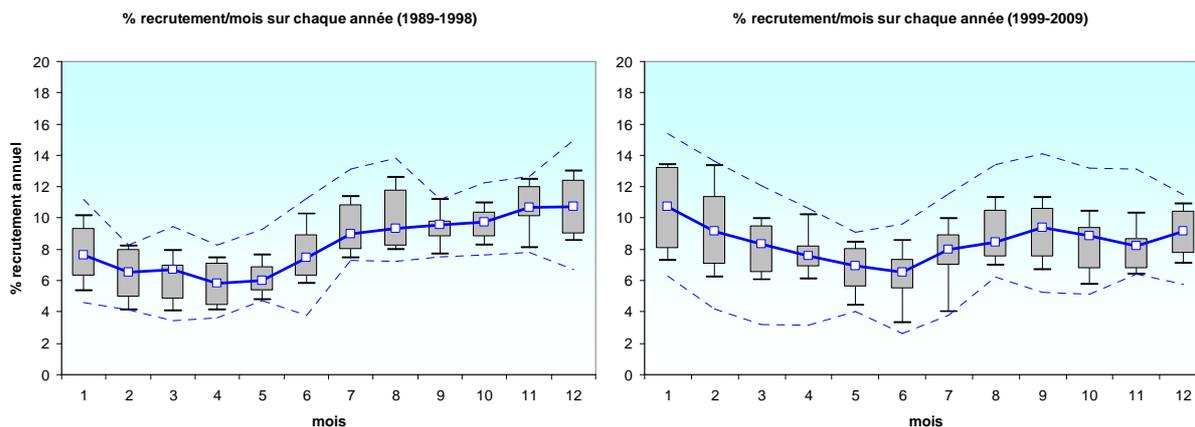


Figure 3.5 : Médianes du % du recrutement par mois (sur l'année) et leur dispersion pour les périodes, 1989-1998 et 1999-2009

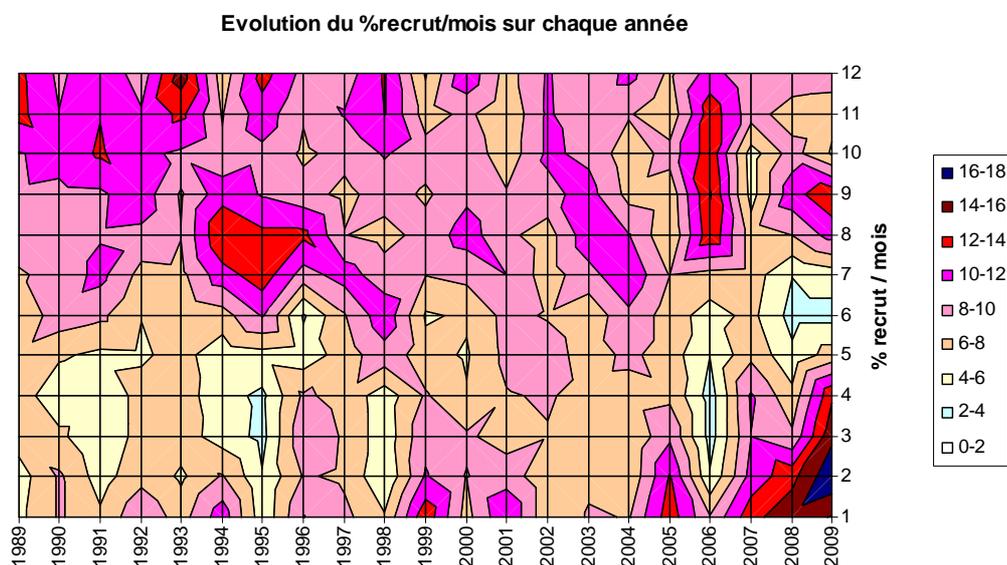


Figure 3.6 : Evolution temporelle du % du recrutement par mois (sur chaque année) par an entre 1989 et 2009

Calculs des biomasses par VPA

Les calculs des biomasses, également effectués avec le script « R », des recrutements, utilisent les relations taille/poids (TP) calculées au laboratoire RH de Guyane dans les années 1980. Dans le tableau 3.2 sont indiquées, par classe de taille et par sexe, les valeurs de classes d'âge, calculées avec les paramètres obtenus par Viera dans le rapport DUHAL (Vendeville et al., 2008), les catégories commerciales pratiquées en Guyane, et les valeurs des relations TP par classe de taille de longueur céphalo-thoracique (LC). Quelques indications sur des tailles caractéristiques de la biologie des crevettes brunes dans la bibliographie sont également apportées.

		MALE	FEMELLE			VIERA 2006		Poids/crevette	
		MALE	FEMELLE			MALE	FEMELLE	MALE	FEMELLE
		51.76	58.62			Age (mois)	Age (mois)	gr	gr
		0.139	0.173						
Categorie commercial	Classe taille LC (mm)	MALE LT (mm)	FEMELLE LT (mm)	OBSERVATION					
	10	57.4	61.9			1.5	1.1	0.906	0.895
	11	61.6	65.7			1.7	1.2	1.176	1.160
	12	65.8	69.5			1.9	1.3	1.493	1.470
	13	70.0	73.3			2.1	1.4	1.859	1.828
	14	74.1	77.1			2.3	1.6	2.278	2.236
	15	78.3	80.9			2.5	1.7	2.752	2.698
	16	82.5	84.7			2.7	1.8	3.285	3.217
	17	86.7	88.5			2.9	2.0	3.879	3.794
	18	90.9	92.3			3.1	2.1	4.537	4.433
	19	95.1	96.1			3.3	2.3	5.262	5.136
	20	99.2	99.9			3.5	2.4	6.056	5.906
	21	103.4	103.7			3.7	2.6	6.923	6.746
	22	107.6	107.5			4.0	2.7	7.864	7.657
	23	111.8	111.3		Partent de la nurserie (L'Homme et Vandeville, E246-LHO)	4.2	2.9	8.884	8.642
	24	116.0	115.1		75 - 85 mm	4.5	3.0	9.983	9.704
	25	120.1	118.9			4.7	3.2	11.165	10.845
	26	124.3	122.7		105 mm = Borne inf recrute ? (Garia, Lebrun et Lemoine, 1984)	5.0	3.4	12.432	12.067
	27	128.5	126.5		Debut maturite 50% FEMELLES L50% (Isaac, 1992)	5.3	3.6	13.787	13.373
	28	132.7	130.3		Taille recrutement (Vandeville, "Cycle vital...", "1997, pag 231)	5.6	3.8	15.232	14.766
	29	136.9	134.1		Egalement dans Garcia, Lebrun et Lemoine, 1984, page 9	5.9	3.9	16.770	16.246
	30	141.0	137.8			6.2	4.1	18.404	17.818
	31	145.2	141.6		Ponte de 50% FEMELLES (Isaac, 1992)	6.6	4.3	20.134	19.482
	32	149.4	145.4			6.9	4.6	21.965	21.241
	33	153.6	149.2			7.3	4.8	23.898	23.098
	34	157.8	153.0			7.7	5.0	25.936	25.054
	35	162.0	156.8			8.1	5.3	28.081	27.111
	36	166.1	160.6			8.6	5.5	30.336	29.273
	37	170.3	164.4			9.0	5.8	32.702	31.541
	38	174.5	168.2			9.5	6.0	35.182	33.916
	39	178.7	172.0			10.1	6.3	37.778	36.402
	40	182.9	175.8			10.7	6.6	40.493	39.001
	41	187.0	179.6			11.3	6.9	43.329	41.713
	42	191.2	183.4			12.0	7.3	46.288	44.542
	43	195.4	187.2			12.8	7.6	49.372	47.490
	44	199.6	191.0			13.7	8.0	52.583	50.558
	45	203.8	194.8		Ponte de 100% FEMELLES (Isaac, 1992)	14.6	8.4	55.924	53.749
	46	207.9	198.6			15.8	8.9	59.397	57.064
	47	212.1	202.4			17.2	9.4	63.004	60.505
	48	216.3	206.2			18.9	9.9	66.747	64.076
	49	220.5	210.0			21.1	10.4	70.628	67.776
	50	224.7	213.8			24.3	11.1	74.650	71.609
	51	228.9	217.6			30.4	11.8	78.814	75.577
	52	233.0	221.4				12.6	83.123	79.681
	53	237.2	225.2				13.6	87.578	83.923
	54	241.4	229.0				14.7	92.182	88.305
	55	245.6	232.8				16.1	96.938	92.830
	56	249.8	236.5				18.0	101.846	97.498
	57	253.9	240.3				20.7	106.909	102.313
	58	258.1	244.1				26.3	112.129	107.275
	59	262.3	247.9					117.508	112.387
	60	266.5	251.7					123.049	117.650

Tableau 3.2 : valeurs d'âge (mois) et des relations taille/poids par sexe et classe de taille (LC en mm)

Les biomasses du stock obtenues à partir des calculs de recrutements suivent la même tendance que la figure 1.1 avec les recrutements (figure 3.9). Les écarts en pourcentage avec les biomasses calculés avec les paramètres COPACO sont cependant plus forts que pour les recrutements. Les stocks calculés avec les paramètres de croissance des crevettes guyanaises pourraient alors être inférieures de 50% à ceux évalués dans le cadre des analyses de la COPACO.

Les débarquements suivent assez bien l'évolution du stock calculée avec le coefficient de Viera ($R^2=0.71$). Il est frappant de constater les faibles écarts existants entre le niveau du stock et les débarquements.

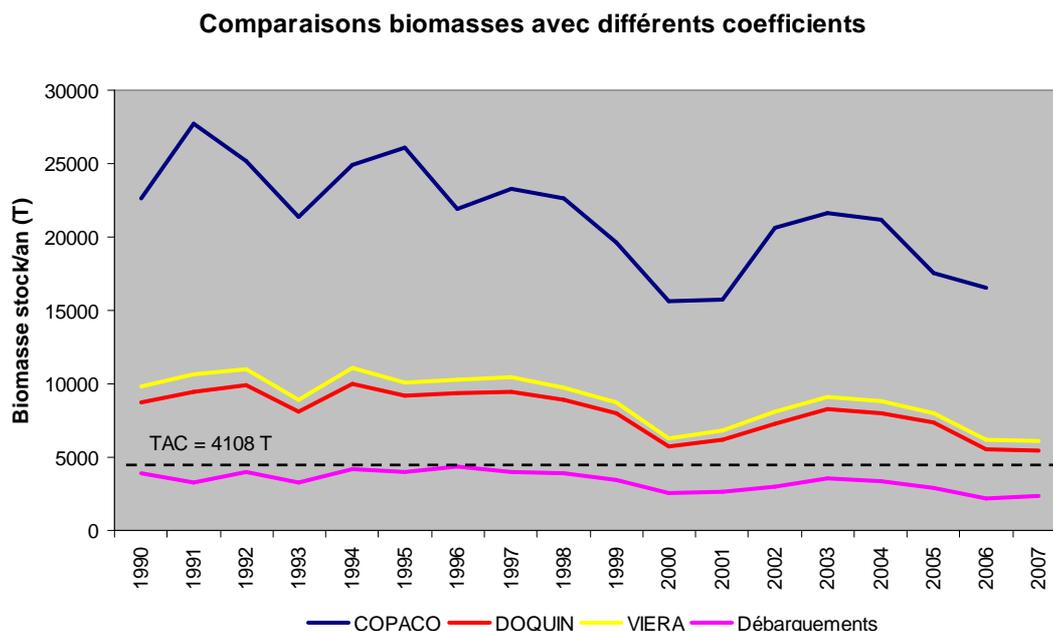


Figure 3.9 : Biomasses annuelles (cumul par mois) calculées à partir des recrutements entre 1989 et 2008 et débarquements annuels

Calculs des biomasses fécondes (SSB)

Faute de disponibilité en autres données biologiques, nous avons opté pour un calcul qui tient compte de la maturité sexuelle des mâles et des femelles à l'âge de 3 mois. C'est cette valeur qui avait été retenue par Vendeville jusqu'en 2007 et par la « Cellule de coordination des expertises halieutiques » de l'Ifremer depuis 2008. L'ogive de maturités utilisée est alors :

OGIVE DE MATURITES	
Classe d'âge (mois)	Maturité
2	0 %
3	100 %
4	100 %
5	100 %
6	100 %
7	100 %
8+	100 %

Tableau 3.2 : Ogives de maturités utilisées pour les calculs de la biomasse féconde

Afin d'améliorer l'évaluation de la biomasse féconde, l'ogive de maturités devrait faire l'objet d'une étude particulière qui permette de dégager des valeurs plus fiables.

L'évolution de la biomasse féconde ainsi calculée, présente une diminution régulière dans le temps, depuis les années 1990 (figure 3.10). Nous observons entre 2003 et 2005 une amélioration des biomasses, mais sans affecter la tendance générale, qu'est à la diminution.

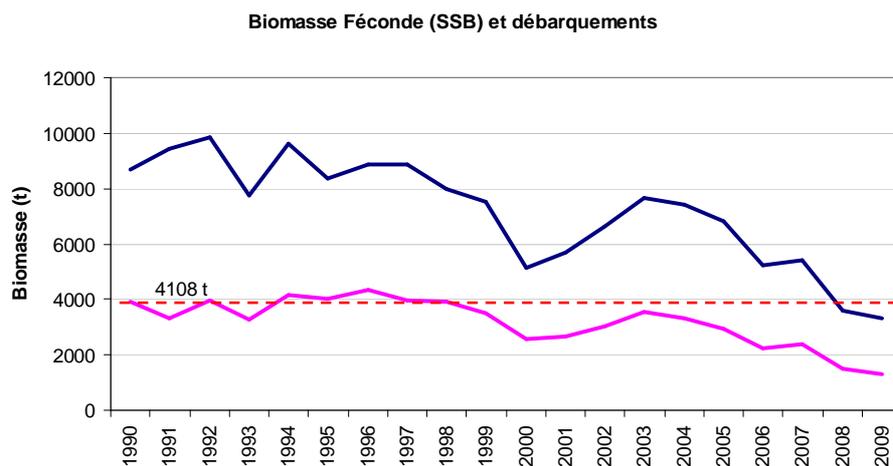


Figure 3.10 : Evolution temporelle des débarquements (mauve) et biomasse féconde (bleue) par an entre 1990 et 2009

En vingt années, la biomasse féconde a été divisée par un coefficient supérieur à deux.

CHAPITRE 4 : DISTRIBUTIONS PAR SEXE

Distribution des recrues mâles et femelles

Distribution en nombre d'individus :

Les calculs par VPA se faisant par sexe, nous pouvons représenter l'évolution du nombre de recrues mâles et femelles séparément (figure 4.1). Une bonne corrélation est visible pour les abondances jusqu'en 2007, puis, les écarts deviennent plus forts et mettent en évidence une plus forte proportion de femelles. Ceci est particulièrement visible sur la figure 4.2 avec l'évolution du rapport femelles/mâles. Ce rapport, qui oscille entre 1 et 2 de 1990 à 2005, présente des valeurs supérieures à 2 dès 2006 et atteint une valeur maximale de 13 en 2009. Les mâles deviennent très minoritaires par rapport aux femelles. Y-a-t'il une sélection à bord des bateaux étant donné que les mâles sont de plus petites tailles ?

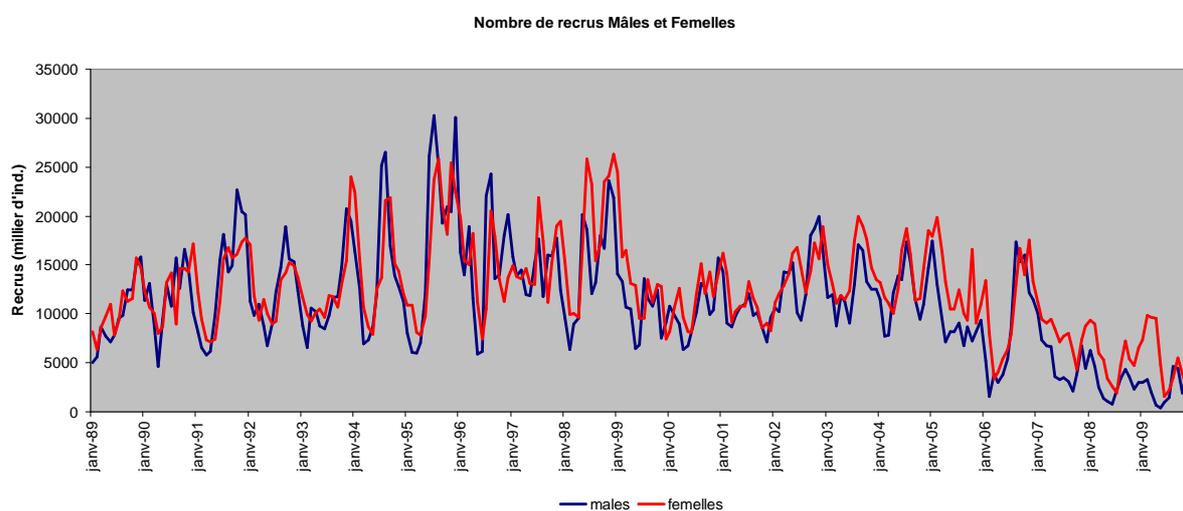


Figure 4.1 : variations temporelles du nombre de recrues mâles et de femelles de 1989 à 2009

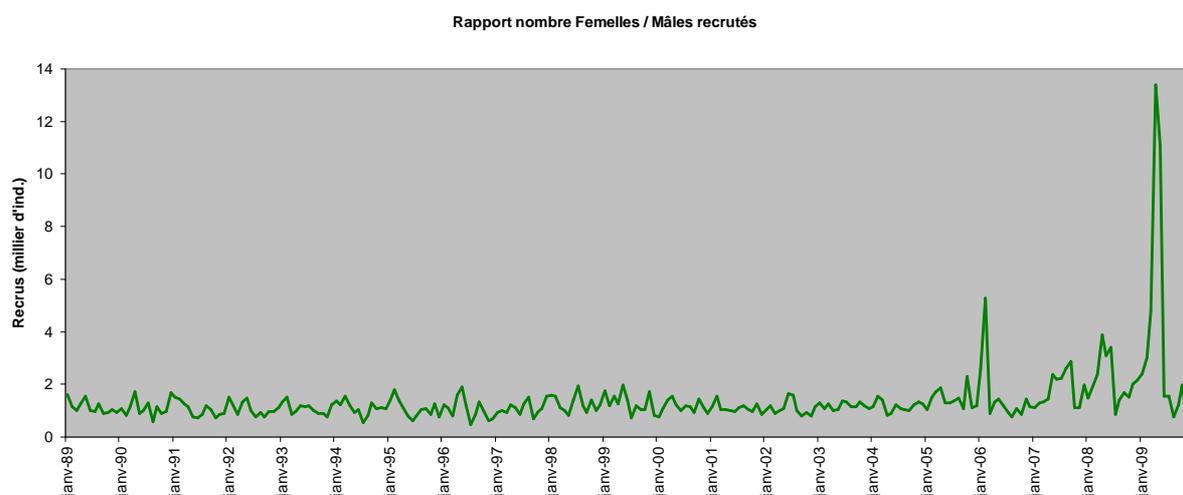


Figure 4.2 : Variations temporelles du rapport du nombre de femelles / mâles de 1989 à 2009

Distribution en biomasse :

Sur la figure 4.3, nous observons l'évolution temporelle des biomasses de mâles et des femelles. Les cycles semblent réguliers jusqu'à 1997, puis, ils deviennent plus erratiques tout en conservant une biomasse de femelles toujours supérieure à celle des mâles. Ce phénomène est plus clairement mis en évidence en prenant le rapport des biomasses (figure 4.4).

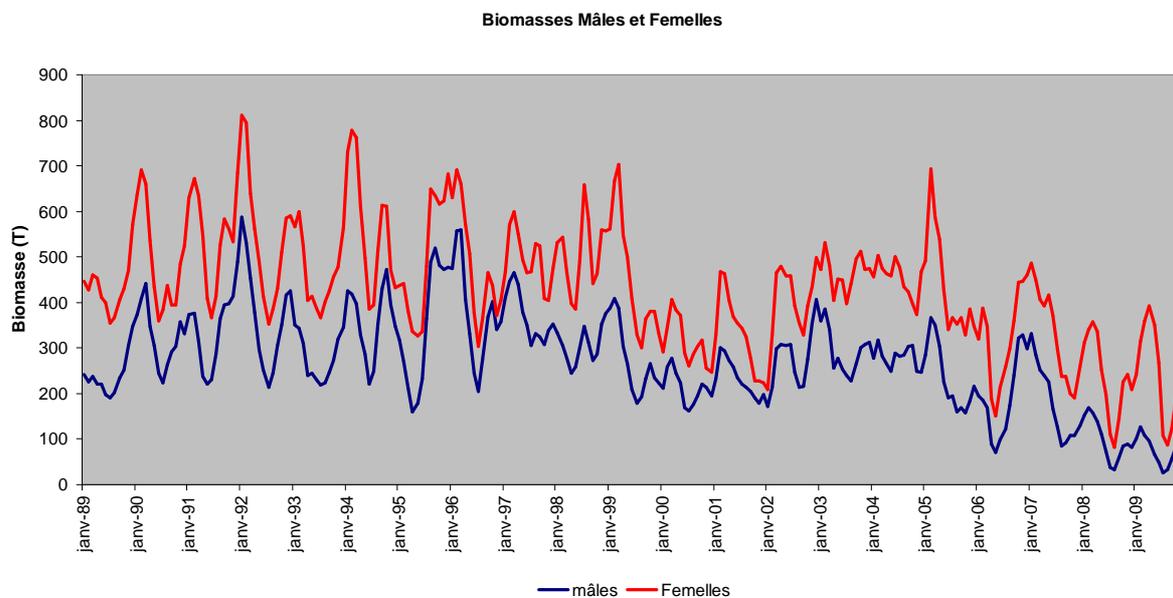


Figure 4.3 : Variations temporelles des biomasses de mâles et de femelles de 1989 à 2009

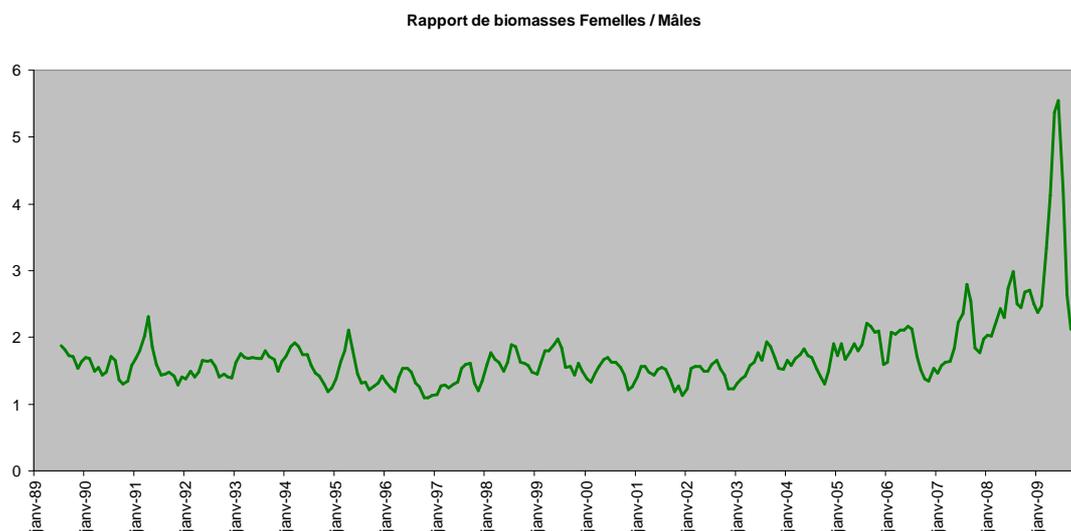


Figure 4.4 : Variations temporelles du rapport des biomasses de femelles / mâles de 1989 à 2007

Les plus fortes différences sont observées à partir de 2007, où les valeurs montent jusqu'à un rapport de 5. Les mâles deviennent de moins en moins présents en poids également.

Distribution des captures mâles et femelles (en nombre)

Sur l'ensemble de la période 1989-2009 :

A partir des données des captures (en nombre d'individus) par sexe et de la production mensuelle, les statistiques de pêche permettent d'obtenir une distribution du nombre d'individus par classe de taille et par mois. Ce sont ces données qui servent d'entrée aux calculs de la VPA. Nous pouvons alors obtenir la distribution du nombre de crevettes mâles et femelles pêchés entre 1989 et 2009 (somme de toutes les années) par classe de taille (tableau 4.1 et figure 4.5).

MALES					FEMELLES				
CT	âge	SOMME C	%	% CUMUL	CT	âge	SOMME C	%	% CUMUL
13	2	11	0	0	13				
14	2	67	0	0	14				
15	2	176	0	0	15				
16	2	543	0	0	16				
17	2	874	0	0	17				
18	3	3824	0	0	18	2	6755	0	0
19	3	7423	0	1	19	2	10946	1	1
20	3	19388	1	2	20	2	20815	1	2
21	3	41086	2	4	21	2	33805	2	3
22	3	5809	0	5	22	2	50532	2	6
23	4	205826	12	17	23	2	53886	2	8
24	4	196852	12	29	24	3	121023	6	14
25	4	217777	13	42	25	3	125505	6	20
26	5	263164	16	57	26	3	152059	7	27
27	5	219197	13	71	27	3	172851	8	35
28	5	183782	11	82	28	3	197831	9	44
29	5	32965	2	84	29	3	53012	2	46
30	6	162220	10	93	30	4	325462	15	61
31	6	44790	3	96	31	4	168736	8	69
32	6	5310	0	96	32	4	146105	7	76
33	7	38512	2	98	33	4	114148	5	81
34	7	7288	0	99	34	5	105200	5	86
35	8	9083	1	99	35	5	74317	3	89
36	8	3697	0	100	36	5	58499	3	92
37	9	2513	0	100	37	5	36167	2	94
38	9	1207	0	100	38	6	40239	2	95
39	10	897	0	100	39	6	22363	1	96
40	10	196	0	100	40	6	17128	1	97
41	11	350	0	100	41	6	2010	0	97
42	12	69	0	100	42	7	21448	1	98
43	12	10	0	100	43	7	7962	0	99
44	13	37	0	100	44	8	6868	0	99
45	14	19	0	100	45	8	4910	0	99
46	15	32	0	100	46	8	932	0	99
47	17	14	0	100	47	9	5631	0	100
48	18	36	0	100	48	9	542	0	100
49					49	10	3579	0	100
50					50	11	1645	0	100
51					51	11	300	0	100
52					52	12	1239	0	100
53					53	13	733	0	100
54					54	14	718	0	100
55					55	16	115	0	100
56					56	17	223	0	100
SOMME====> 1675042 100					SOMME====> 2166239 100				

Tableau 4.1 : Nombre de crevettes par sexe et par classe de taille cumulés entre 1989 et 2009. En jaune, les juvéniles. En rouge la classe de taille adoptée pour le recrutement (Philippe Vendeville & Lhomme 1997), qui correspond au début de maturité de 50% des femelles (Isaac et al. 1992)

La figure 4.5 présente une plus forte proportion de mâles pêchés pour les classes de taille inférieures à 28 mm LC. A partir de 28mm LC, ce sont les femelles qui dominent. Donc, sur l'ensemble de la période 1989-2009, les petites tailles sont dominées (en nombre) par les

mâles. Pour la classe de taille 24mm, les mâles ont déjà cumulé 29% de leurs effectifs, contre seulement 14% pour les femelles (tableau 4.1 et figure 4.6).

Captures 1989-2009 par classe de taille LC

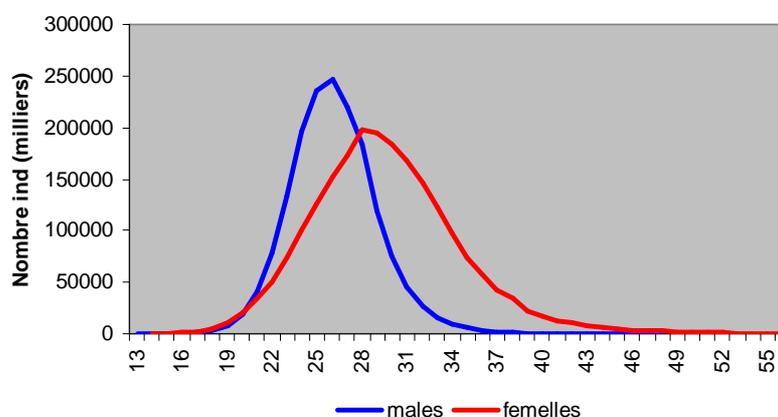


Figure 4.5 : Distribution du cumul des captures (1989-2009) par sexe et classe de taille

Pourcentage cumulé des captures par sexe (1989-2009)

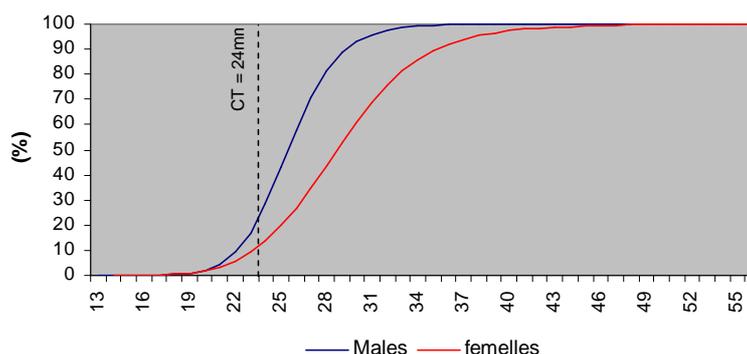


Figure 4.6 : Distribution du cumul des effectifs par sexe sur la période 1989-2009

Parmi les captures d'individus de petite taille, il y a davantage de mâles que de femelles.

Evolution des juvéniles Males+Femelles

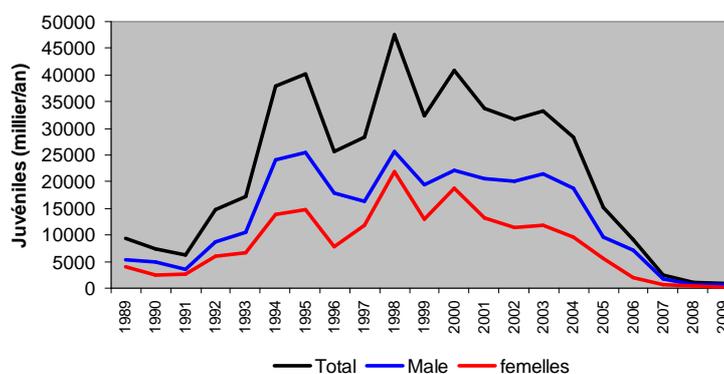


Figure 4.7 : Distribution du nombre de juvéniles capturés par an et par sexe sur la période 1989-2009

En additionnant le nombre de juvéniles capturés par an selon le sexe, nous pouvons observer une augmentation dans la prise de juvéniles de 1992 à 2003, puis une diminution jusqu'en 2007 (figure 4.7). En 2008 et 2009 les valeurs sont les plus bas de la série pluriannuelle.

Evolution par année sur la période 1989-2008 :

Nous pouvons alors nous poser la question de savoir si cette dominance des mâles dans les petites tailles a été régulière le long de ces 20 années étudiées. Pour y répondre, la figure 4.8 présente le pourcentage de mâles et femelles sur le nombre total d'individus de chaque année. Il s'agit de la moyenne des pourcentages mensuels.

A partir de l'année 2005, nous observons une diminution générale des pourcentages (en nombre d'individus mâles) des petites tailles. Le pourcentage de mâles de 21mm LC représentait 60-70% du nombre d'individus en 2004, et seulement 0-10% en 2008. Le même phénomène est observé pour les femelles, qui de plus présentent une diminution dans les grandes tailles.

La disparition des grandes tailles chez les femelles (qui représentent l'essentiel dans ces classes de taille) pourrait correspondre au changement de stratégie des crevettiers, qui dans les années 2000 se sont rapprochés des côtes pour pêcher. La réduction des petites tailles des mâles reste plus difficile à expliquer. Un rejet des petites crevettes pour de raisons commerciales pourrait être une explication.

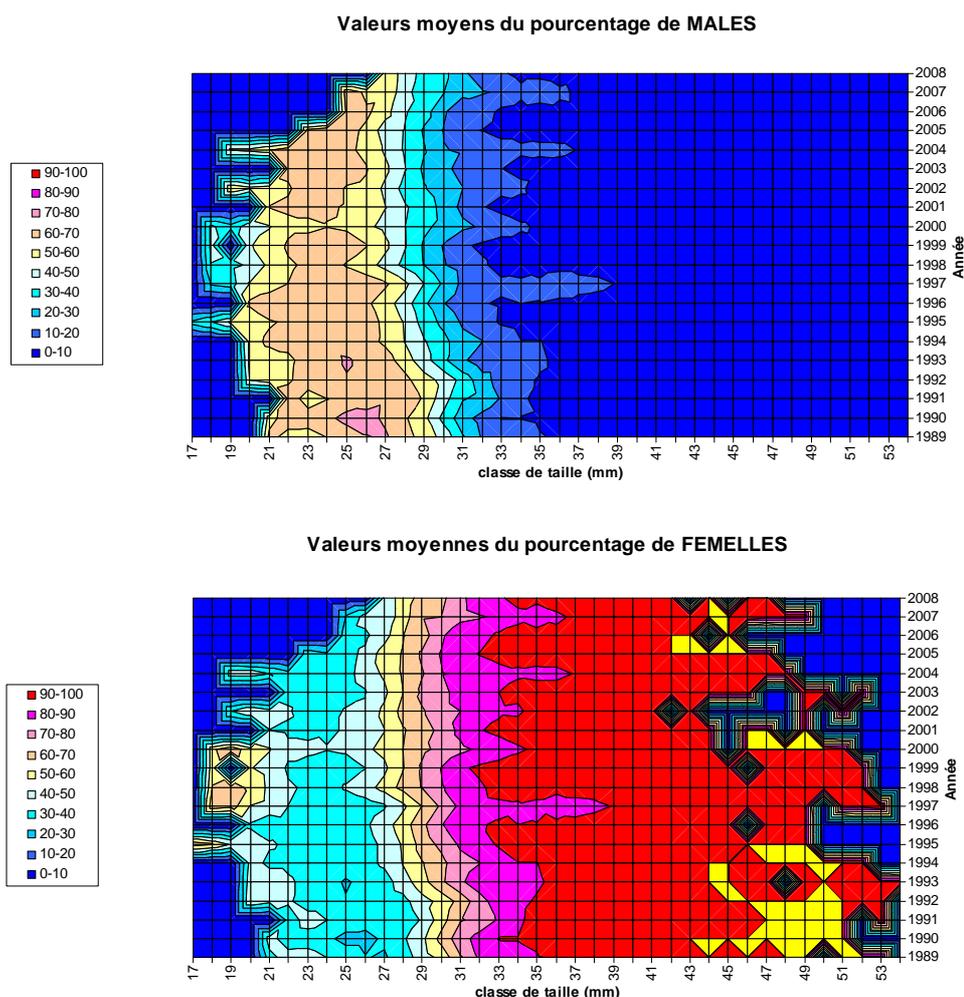


Figure 4.8 : Pourcentages moyens (12 mois/an) du nombre de crevettes par an et par sexe entre 1989 et 2008

En calculant le pourcentage moyen de mâles et femelles sur le nombre total d'individus, par mois, toute classe de taille confondue, nous constatons également une diminution du pourcentage de mâles (figure 4.9).

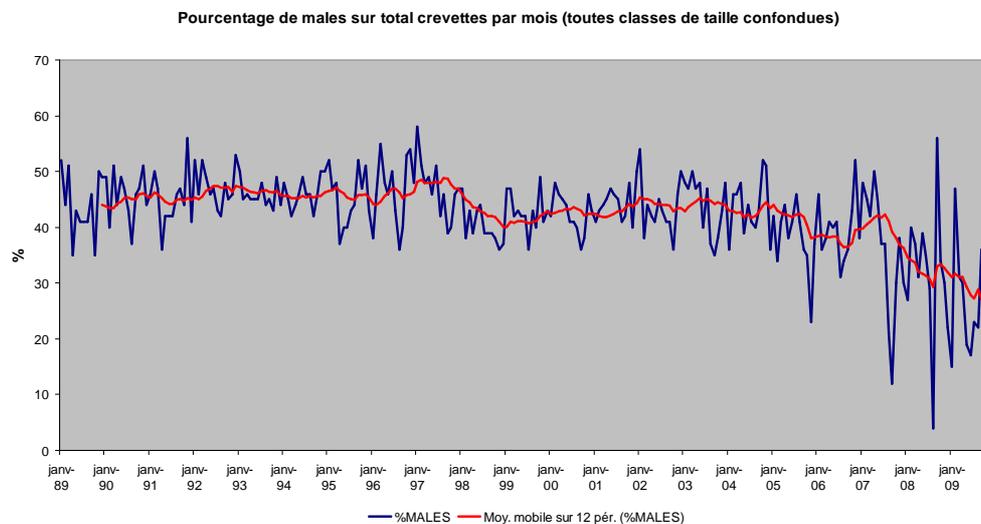


Figure 4.9 : Pourcentages moyens (toutes classes de taille) du nombre de crevettes mâle par mois entre 1989 et 2008

CHAPITRE 5 : REJETS ET JUVENILES

Comme indiqué dans le chapitre précédent (figure 4.7), le nombre de juvéniles présente les plus fortes valeurs entre 1994 et 2004, puis nous observons une diminution régulière des captures mensuelles jusqu'à nos jours. Le pourcentage annualisé de ces juvéniles capturés par la pêche industrielle met en évidence une diminution des juvéniles pêchés depuis 2001 et une stabilisation de 2007 à 2009 aux plus bas niveaux (figure 5.1).

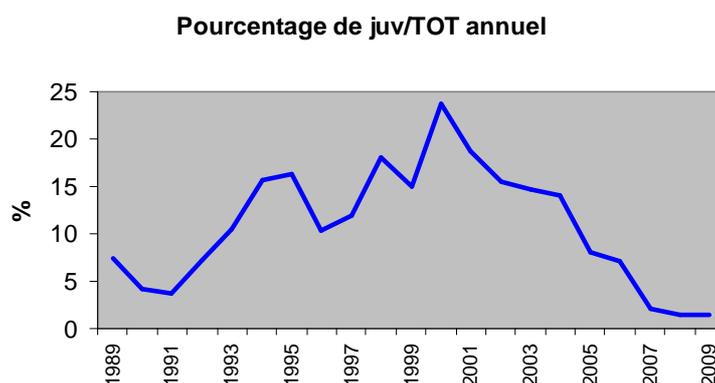


Figure 5.1 : Pourcentages moyens (12 mois/an) du nombre de juvéniles capturés par an entre 1989 et 2008

En 2003 et 2004 ont été effectuées des campagnes sur des navires crevettiers pour estimer le niveau des rejets en mer (Baudrier et al. 2006). Parmi tous les rejets quantifiés, nous intéressent particulièrement ceux de la crevette. Sur les 24 mois de cette période, 17 ont été échantillonnées et les 7 restants ont été interpolés linéairement afin de reconstituer le spectre de tailles du total réellement pêché en mer. Nous pouvons alors estimer plus précisément quelle a été la pression réelle de la pêche et des rejets sur les juvéniles sur ces deux années (figure 5.2).

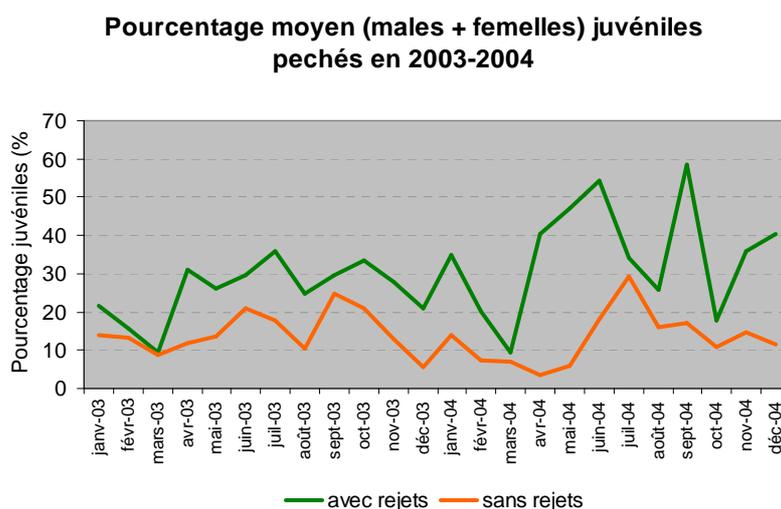


Figure 5.2 : Pourcentages mensuels du nombre de juvéniles capturés par pêche en 2003 et 2004, avec et sans rejets

Nous observons que le taux moyen de capture de juvéniles sur les deux années, en tenant compte des rejets, est d'environ 30%, avec des valeurs qui dépassent le 50% en 2004. Ceci veut dire que jusqu'à 50% des individus pêchés dans le mois de juin 2004 ont été des juvéniles.

Il est impossible d'extrapoler ces valeurs aux autres années, mais nous constatons une très forte pression de pêche sur les juvéniles dans cette période.

La tendance à la diminution des effectifs débarqués de petite taille avait déjà été mise en évidence dans la figure 4.8. Elle intervient à partir du début des années 2000, moment où les navires crevettiers se sont rapprochés des côtes, à cause de l'augmentation des frais de combustible.

Les abondances de juvéniles de crevette présentent un gradient décroissant côte-large, mais de nombreux juvéniles sont encore présents dans les profondeurs de 30-40m. De plus, des pêches à des sondes inférieures à 30m ont été constatées lors de ces campagnes en 2003 et 2004 (Baudrier et al. 2006).

La raréfaction de juvéniles dès 2004, constatée par les capturés, peut être la conséquence des facteurs environnementaux, de la pêche, ou des facteurs croisés multiples. La plus forte pression de pêche depuis 2000, sur les zones côtières, pourrait en expliquer en partie cette diminution dans les captures des juvéniles. Les temps de chalutage de plus de 2h, avec des chaluts à double poche, pourrait rendre compte des prises de toutes petites tailles de juvéniles par colmatage des filets de 45 mm. Elle pourrait être aussi la conséquence de changements dans le tri effectué à bord en fonction de la demande du marché.

A une plus forte pression de la pêche sur les mâles juvéniles, il faut ajouter une très forte pression sur l'ensemble de juvéniles à partir des années 2000, avec une raréfaction générale de ces derniers dans les captures (et dans le milieu ?).

Modification de l'évaluation du recrutement

L'augmentation du nombre de juvéniles réellement capturés (débarquements plus rejets) est de nature à influencer les résultats des calculs de recrutements par VPA. Plus de juvéniles nous aurons, plus de recrues seront estimées par VPA. A partir des spectres de taille reconstitués avec les rejets sur 2003 et 2004, nous avons recalculé les recrutements. Le calcul a été effectué avec les paramètres de croissance de Viera (tableau 3.1) et en prenant une classe d'âge de 2 mois pour le recrutement (figure 5.3).

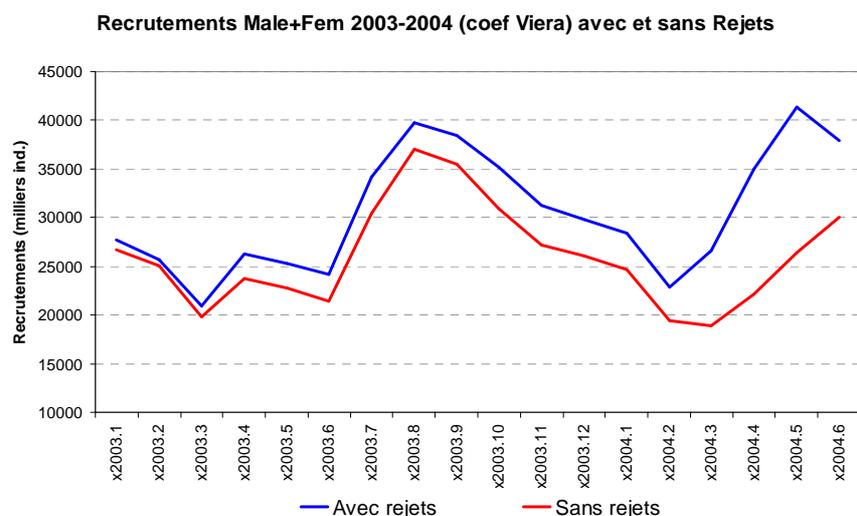


Figure 5.3 : Résultats des calculs de recrutements pour la classe d'âge de 2 mois en utilisant les données des débarquements uniquement (sans rejets) et les données des débarquements plus les rejets (avec rejets) pour les années 2003 et 2004

Il faut cependant nuancer cette image plus favorable des recrutements. En effet, nous avons calculé jusqu'à présent les recrutements avec la classe d'âge de 2 mois, ce qui n'est pas correct dans l'absolu. La figure 3.2 nous présente les correspondances entre classes de taille et classes d'âges pour les paramètres de croissance de Viera. La classe de taille de plein recrutement d'adultes est celle de 24mm LC, ce qui correspond à une classe d'âge de 4 mois pour les mâles, et de 3 mois pour les femelles. Le nombre d'individus pêchés en dessous de 24mm LC est aléatoire et dépend comme nous l'avons vu, des facteurs extérieurs tels que la zone de pêche, le temps de chalutage, la taille de la maille et le niveau de colmatage des poches. Nous n'avons en plus aucune certitude que tous les individus des tailles inférieures à 24 mm LC soient capturés. L'utilisation des classes d'âge de plein recrutement fera alors chuter le niveau des recrutements calculés par VPA (figure 5.4).

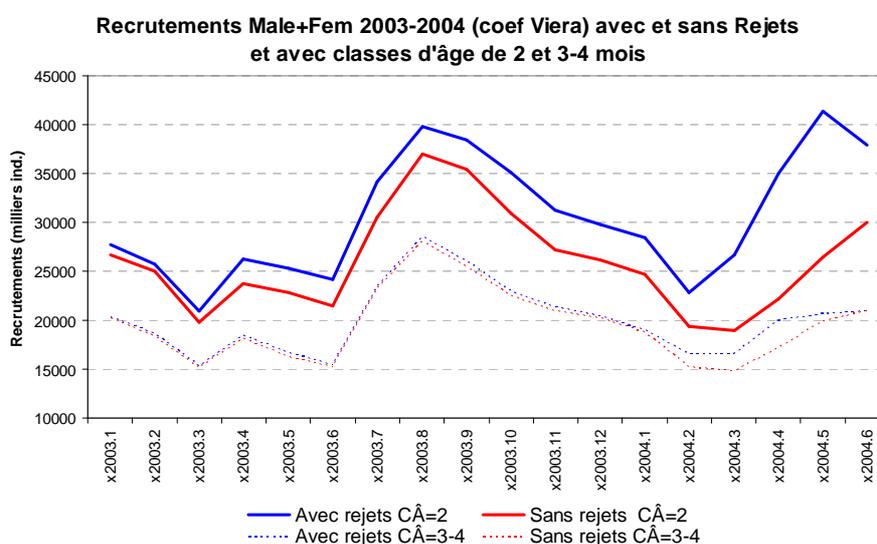


Figure 5.4 : Résultats des calculs de recrutements pour la classe d'âge de 2 mois et 3-4 mois en utilisant les données des débarquements uniquement (sans rejets) et les données des débarquements plus les rejets (avec rejets) pour les années 2003 et 2004

L'augmentation des recrutements calculés avec les rejets se transforme en déficit de recrutement si nous calculons les recrutements avec une classe d'âge terminale de 3 et 4 mois respectivement pour les femelles et les mâles.

CHAPITRE 6 : DONNEES DE PRODUCTION

Les débarquements

Entre 1989 et 2009 les débarquements peuvent être séparés en trois périodes (figure 6.1). Une période qui s'étend de 1989 à 1998, où les débarquements sont proches du TAC de 4 108 T/an. La valeur moyenne des débarquements annuels dans cette période est de 3 862 T. S'en suit en 1999 et surtout en 2000, une chute des tonnages débarqués et une reprise autour de 2003. Mais malgré cette reprise, la valeur moyenne dans cette période est de 3 084 T, donc 20 % de moins que la période précédente. Mais la période suivante va être plus défavorable encore entre 2007 et 2009, où la moyenne n'est que de 46 % de celle de la période 1989-1998, avec 1 853 T.

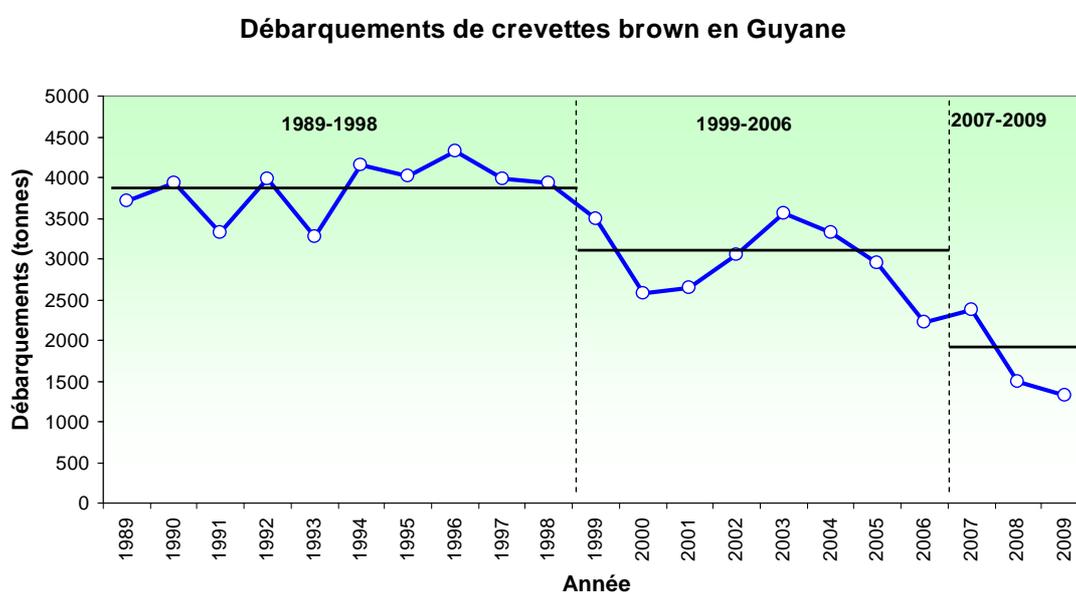


Figure 6.1 : Evolution des débarquements annuels en Guyane et leurs moyennes 1989-1998, 1999-2006 et 2007-2009

Rendements

On constate une diminution du nombre de jours de mer depuis 1989 avec deux paliers sensibles : en 1990, puis en 2005 (figure 6.2). Les captures par unité d'effort (Cpue) restent stables jusqu'à 2002 et remontent par la suite, avec une pointe en 2006. A partir de 2002, il y a eu une amélioration du rendement par bateau très sensible.

En agrégeant les données par mois sur la période 1989-2009 (figure 6.3) nous observons que la médiane atteint un maximum en février. Ceci pourrait signifier qu'il y a un plus fort recrutement en février-mars et un minimum en juillet. Ces faibles variations appuient la théorie d'un recrutement plus ou moins constant toute l'année.

Evolution des jour de mer et CPUE

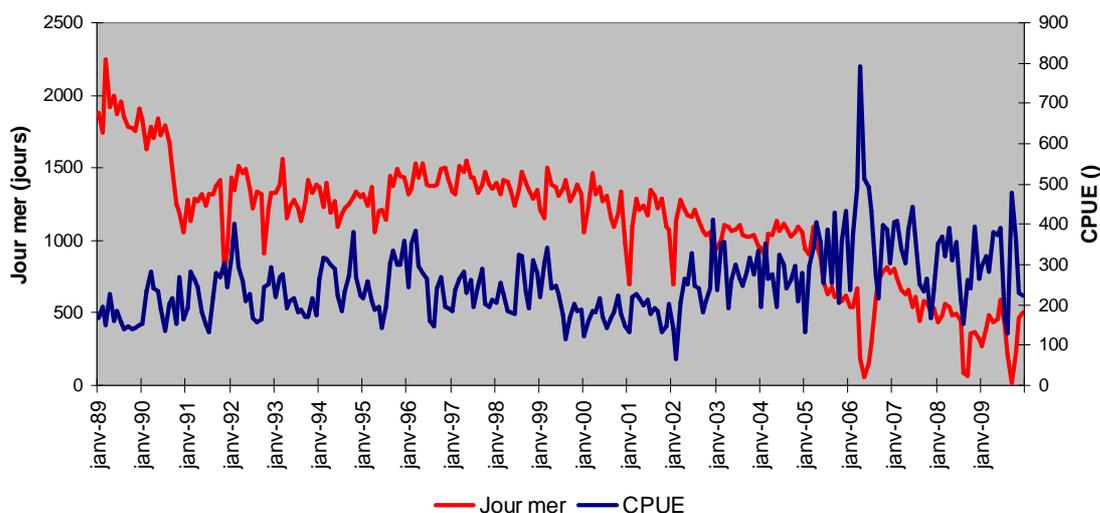


Figure 6.2 : Evolution du nombre de jours de mer par mois et du poids débarquée par nombre de jours de mer (CPUE)

CPUE par mois (1989-2009)

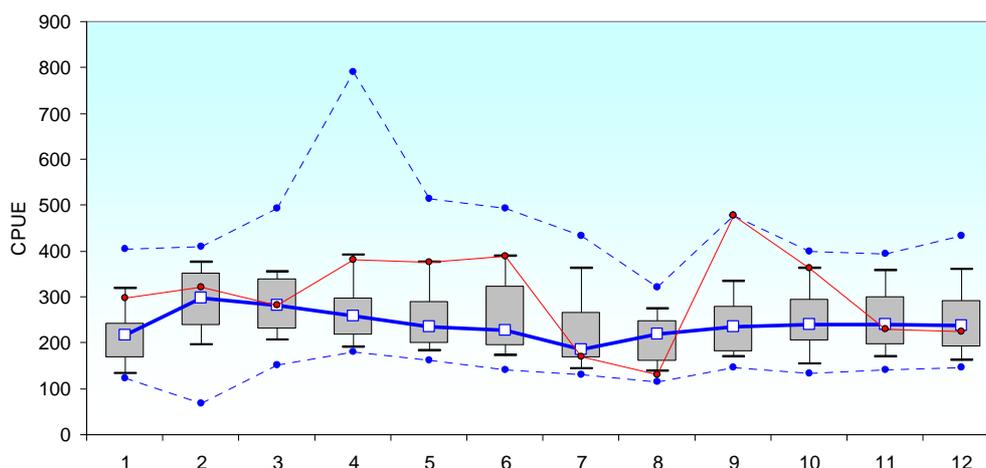


Figure 6.3 : Evolution de la CPUE (poids débarquée par nombre de jours de mer) par mois sur la période 1989-2005 (trait continu bleu), et sur 2007 (trait rouge). Le trait pointillé indique les valeurs extrêmes de chaque série mensuelle

Les mortalités par pêche « F »

Mortalité par pêche moyenne (F3-7bar) par an :

Les VPA nous ont fourni les valeurs de mortalité par pêche « F » par classe d'âge et par mois. Nous avons adopté la moyenne des classes d'âge 3 à 7 (F3-7bar) comme indicateur de cette pression de pêche. La figure 6.4 présente l'évolution de cet indicateur, par année (moyenne des 12 mois) pour mâles et femelles, ainsi que les valeurs de l'effort de pêche en nombre de jours de mer.

Les valeurs de mortalité par pêche restent constantes ou montent légèrement, tandis que l'effort de pêche diminue depuis la fin des années 90. Ceci est en accord avec la figure 6.2, où les Cpue montrent une également augmentation lors des dernières années.

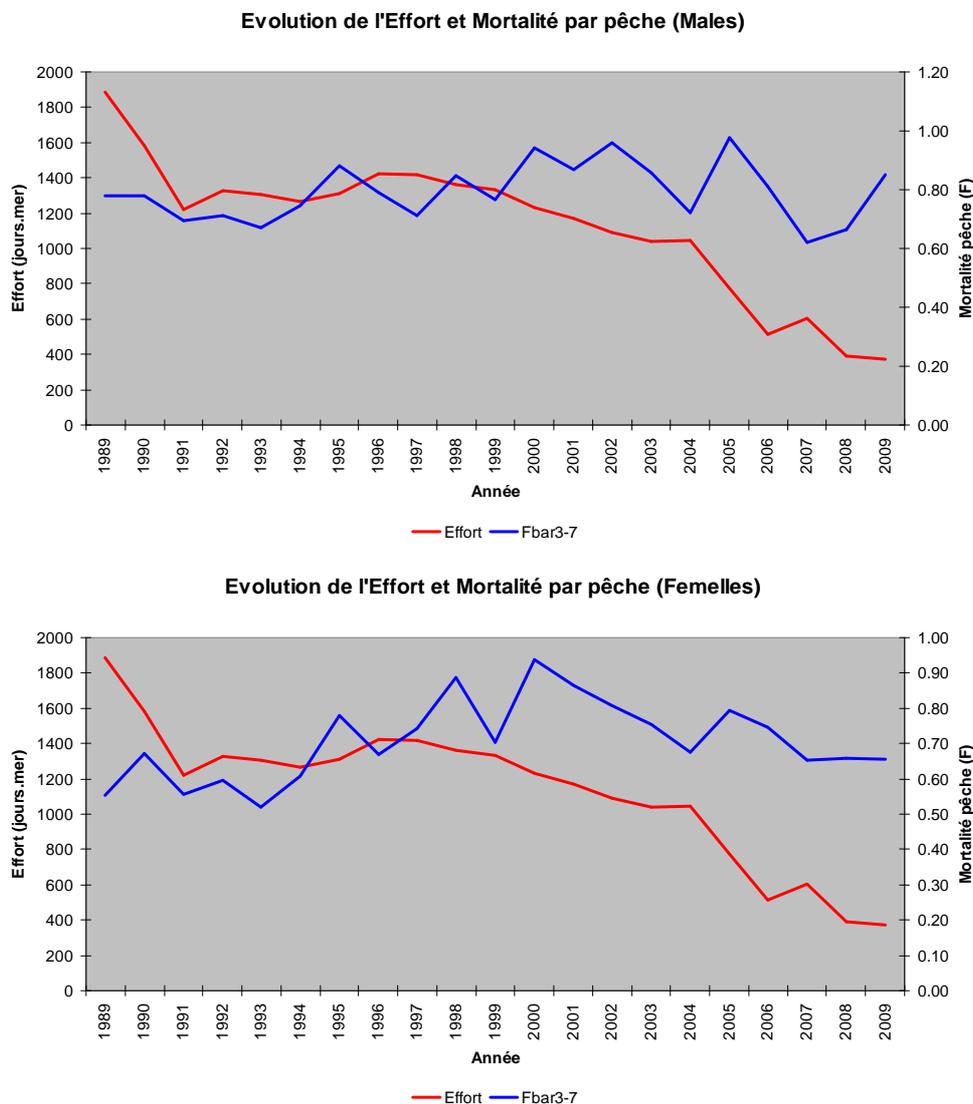


Figure 6.4 : Evolution de l'effort de pêche (jours de mer) et de la mortalité moyenne F3-7bar pour les mâles et les femelles

Les captures par classe d'âge

Les statistiques de pêche nous fournissent le nombre de crevettes capturées par classe de taille, puis les classes de taille sont transformées en classe d'âge dans les VPA. Nous pouvons alors reconstituer le nombre de crevettes pêchés par sexe et par classe d'âge dans le temps (figure 6.5).

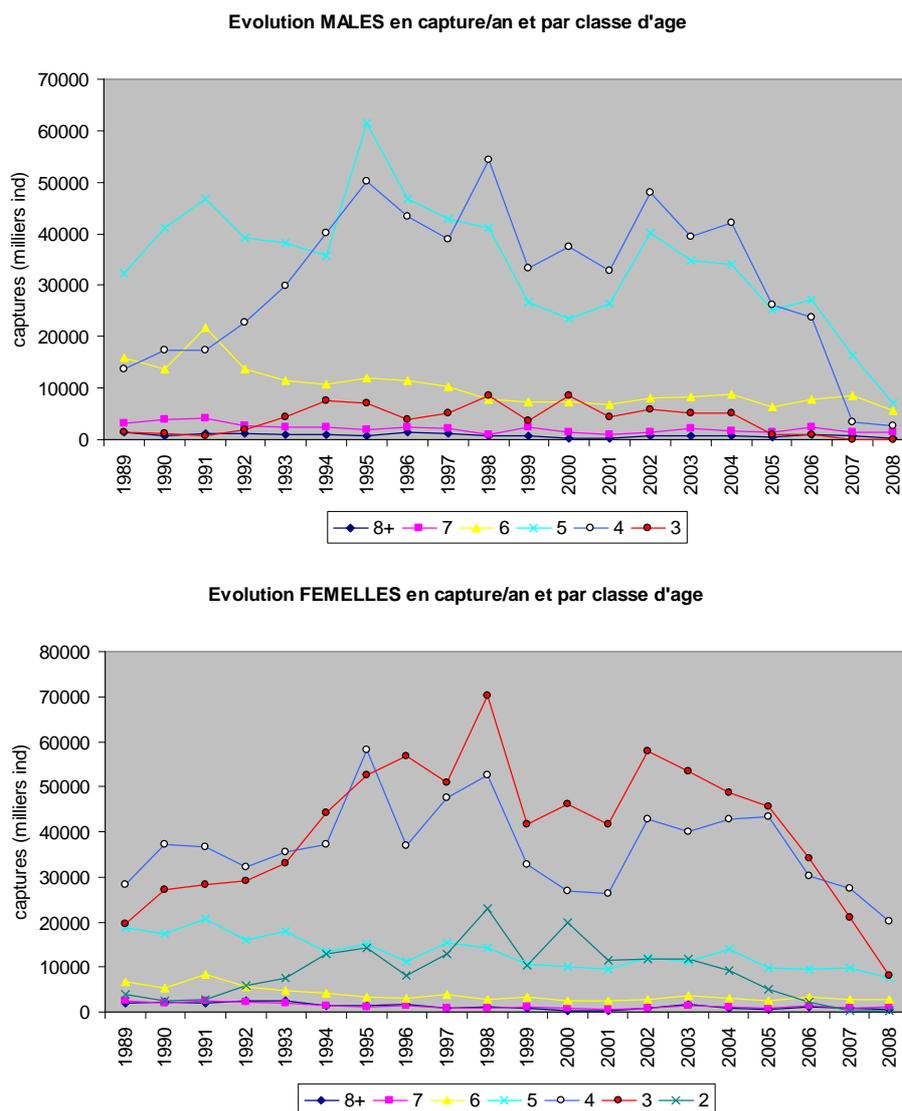


Figure 6.5 : Evolution de la capture cumulé par an pour mâles et femelles et par classe d'âge

Pour les mâles, c'est sont les classes d'âge 4 et 5 qui ont fortement diminuée depuis 10 ans.
 Pour les femelles ce sont les classes d'âge 3 et 4.

CHAPITRE 7 : ANALYSE SPATIALE DES DEBARQUEMENTS

L'évolution de la répartition spatiale des captures peut nous permettre de comprendre les changements dans les indicateurs, un changement dans la stratégie de pêche étant de nature à modifier l'interprétation de ceux-ci.

Cette analyse est réalisée à partir des données obtenues à partir des fiches de pêche uniquement. Il s'agit des déclarations de capitaines sur le nombre de caisses (7 kg chacune environ) pêchées par secteur et par strate. Le poids annuel obtenu dans ces fiches de pêche, sur la production annuelle débarquée, représente le taux d'échantillonnage réalisé en poids. Seule la série 1994-2008 sera analysée, car les séries plus anciennes ne sont ni homogènes ni complètes. L'évolution du taux d'échantillonnage est présentée dans la figure 7.1.

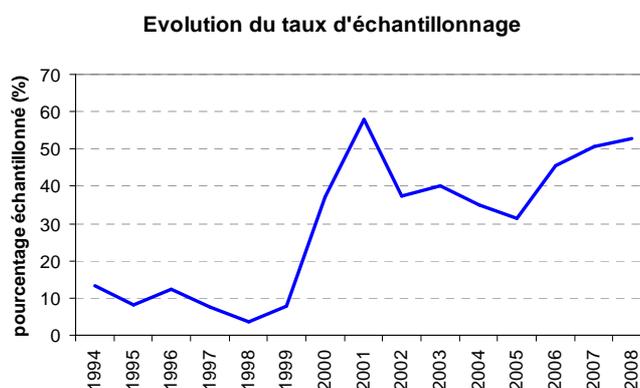


Figure 7.1 : Evolution du taux d'échantillonnage par fiches de pêche sur la production totale annuelle

De 1994 à 1999 le retour des fiches de pêche a été d'environ 10 %. Puis, les contraintes administratives imposées aux armateurs pour percevoir des aides à la pêche ont permis de récupérer la presque totalité des fiches dès 2001. Il reste cependant difficile d'atteindre un taux d'échantillonnage de 100% car nombreuses fiches de pêche sont encore mal remplies ou manquent d'informations.

Par secteur

Les secteurs de pêche en Guyane sont au nombre de 6 (figure 1.4), où les secteurs 5 et 6 sont rarement fréquentés. Leur fréquentation montre des changements dès la fin des années 1990 (figure 7.2).

Le secteur 1 a connu une augmentation de la fréquentation dès 2002, passant d'environ 10% de la pêche annuelle dans les années 1990, à 30-40% dès 2005. Le secteur 2 a connu cette même tendance un peu plus tôt. Les secteurs 3 et 4, au contraire, ont connu une diminution de leur fréquentation par les crevettiers. Le secteur 3 avait compté pour plus de 70% des captures en 1998, puis, ce pourcentage de captures est régulièrement descendu à des valeurs oscillant entre 10 et 20% dès 2003. Le secteur 4, avec des pourcentages de captures de 20% jusqu'en 1997, diminue sa fréquentation, jusqu'à ne compter que quelques traits de chalut occasionnels des 2004.

Les secteurs 1 et 2 comptent donc pour environ 80% des captures échantillonnées dès 2005. Cette concentration des bateaux crevetiers est probablement due aux distance et coûts de carburants nécessaires pour chaluter dans les secteurs 3 et 4, plus éloignées du port de Cayenne.

Pourcentage pêché par an et par zone

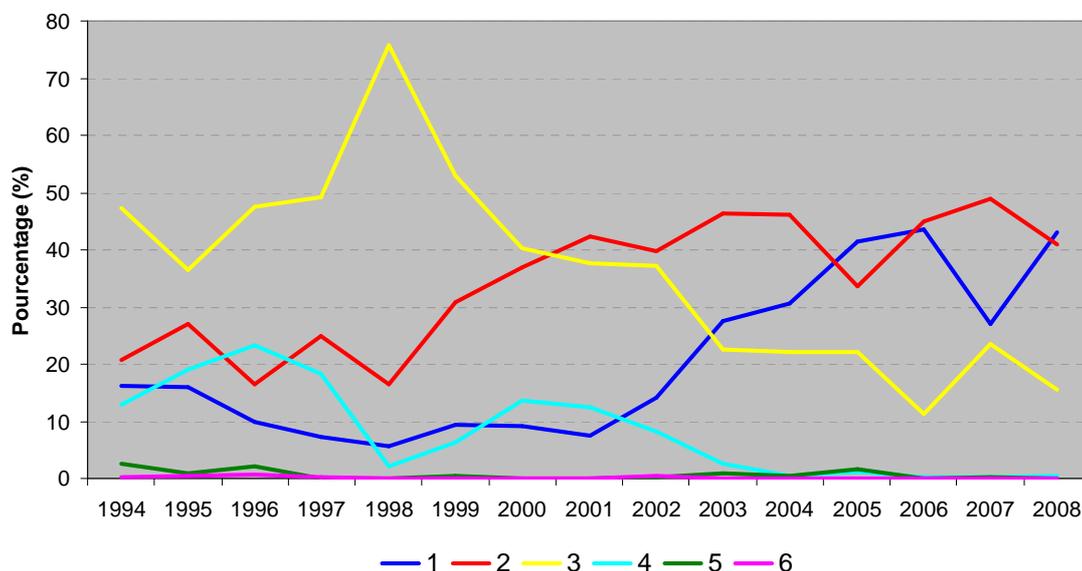


Figure 7.2 : Evolution temporelle des pourcentages des débarquements par secteur de pêche entre 1994 et 2008

Par strate

La même analyse a été menée également par strate de profondeur de 10m, ou sonde. La strate 0 est comprise entre les sondes de 0 à 10m, la strate 10 est comprise entre les sondes 10 à 20m et ainsi de suite. La figure 7.3 présente l'évolution depuis 1994 des poids échantillonnées par an et par strate.

Pourcentage de pêche par an et par strate

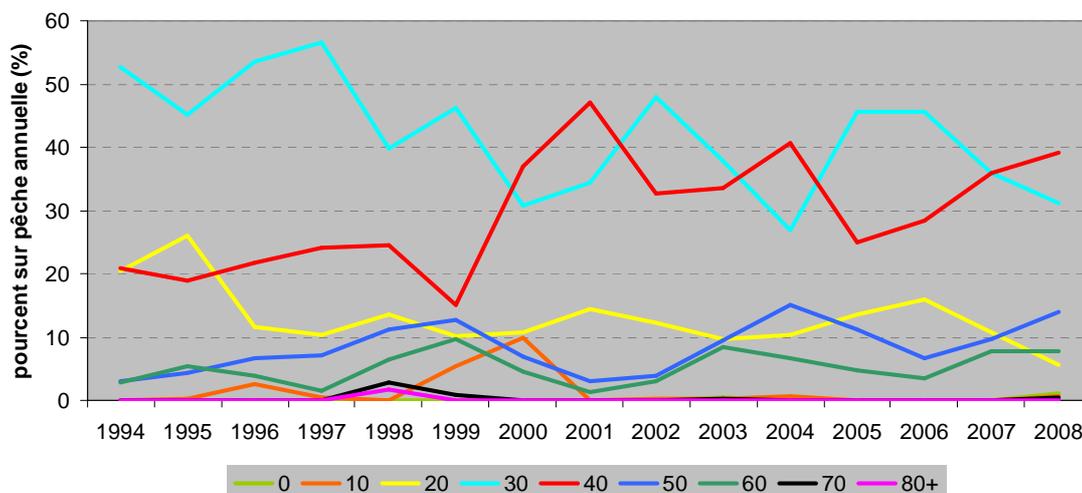


Figure 7.3 : Evolution temporelle des pourcentages des débarquements par strate de pêche entre 1994 et 2008

La strate 30, avec des captures supérieures à 50% en 1996 et 1997 est l'une de plus fréquentées. Elle présente des oscillations annuelles de l'ordre de 20% et une tendance à la diminution dans les dernières dix années. La strate 40 a vu sa fréquentation augmenter, passant d'environ 20% des captures jusqu'à 1999, à 30-40% des 2001. La pêche dans les autres strates reste assez régulière, avec des oscillations pluriannuelles d'environ 5 ans. 80% des captures se font ainsi entre les 30 et 50m de profondeur.

Malgré l'interdiction de chaluter en deçà des 30m, l'analyse des fiches de pêche montre qu'une partie des captures se fait toujours dans les fonds inférieurs à 30 m (figure 7.4, (Baudrier et al. 2006)).

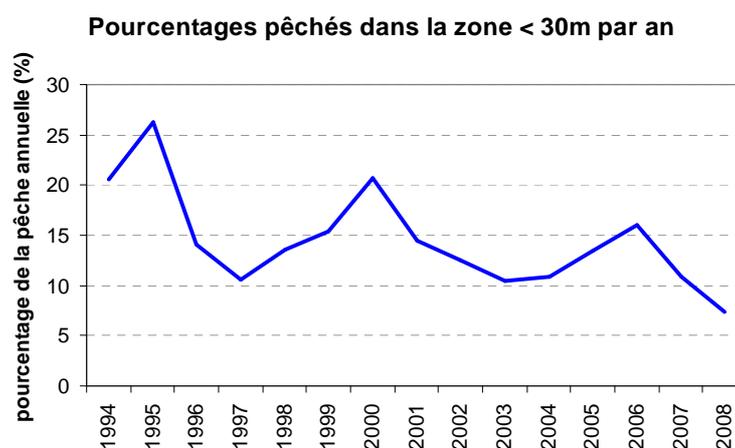


Figure 7.4 : Evolution temporelle des pourcentages pêchés (poids) dans les profondeurs < 30m

Jusqu'à 25% des captures ont été réalisés dans des fonds inférieurs à 30m en 1995, puis, ce pourcentage descend, avec des oscillations d'une période de 5 ans, à des valeurs d'environ 10% en 2008. Ces pourcentages en poids, sont encore plus forts en nombre d'individus à cause de la forte proportion de juvéniles présents dans les faibles profondeurs.

CHAPITRE 8 : MODELES

Un autre mode de diagnostic de l'état de la ressource crevetteière et de l'impact de la pêche sur cette ressource consiste en l'ajustement de modèles, tels que les modèles de production (globale et analytique) et par l'approche de précaution.

8.1. Modèle global

C'est le type de modèle qui a été utilisé par la COPACO, avec des séries de débarquements remontant à 1968 pour définir le RMD (Rendement Maximum Durable ou MSY, Maximum Sustainable Yield, i.e. le prélèvement maximal que le stock peut supporter sans décliner, lorsque celui-ci est à l'équilibre), et ainsi justifier le TAC de 4 108 t/an.

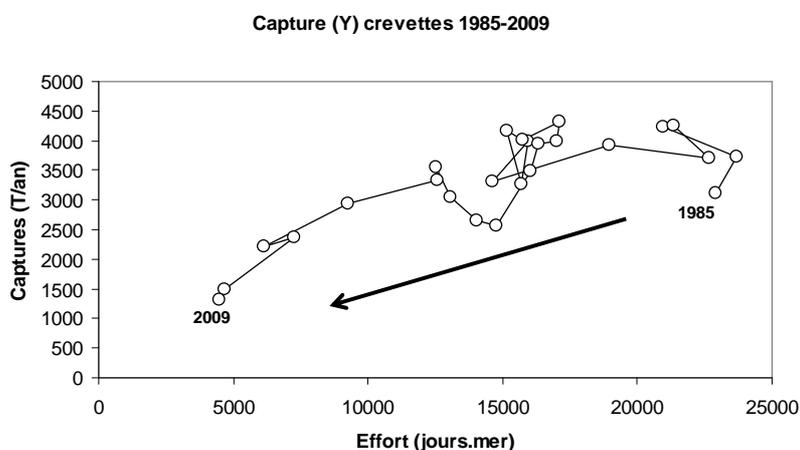


Figure 8.1 : Captures et efforts de pêche entre 1985 et 2009

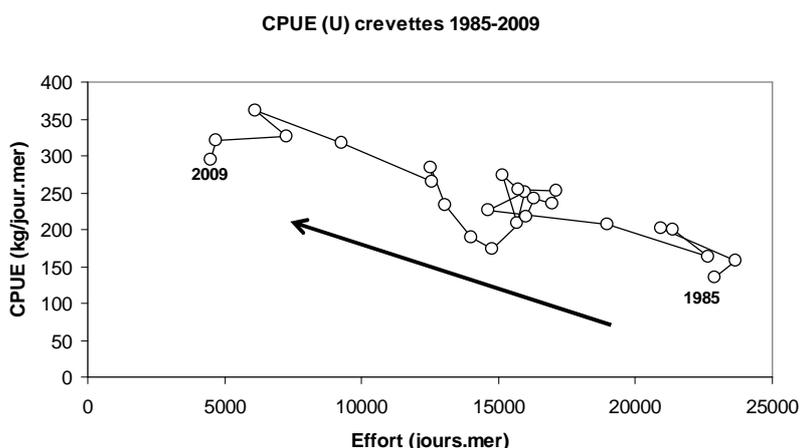


Figure 8.2 : Captures par unité d'effort et efforts de pêche entre 1985 et 2009

Dans les figures 8.1 et 8.2 sont présentées les évolutions des captures et des CPUE de la série 1985-2009. L'Ifremer dispose des données de débarquements et des échantillons de classes de taille pour cette série.

Suite à l'arrêt des réunions du groupe de travail de la COPACO (2000) pour l'évaluation du stock de crevettes du plateau guyano-brésilien, l'Ifremer a continué à réaliser des évaluations *via* le modèle global avec le programme « Biodyn » (Punt & Hilborn 1996). Ces résultats corroborent le potentiel de pêche calculé par la COPACO dans les années précédentes et servent de base à la distribution des nouvelles licences de pêche (figure 8.3).

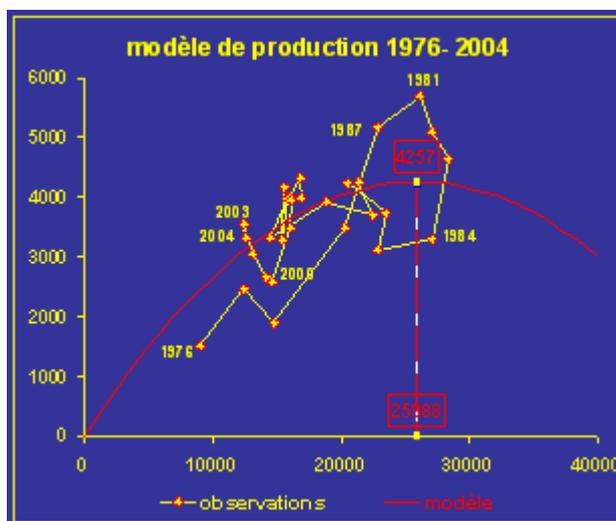


Figure 8.3 : Modèle global obtenu par le programme « Biodyn » sur la série de pêche 1976-2004

Le modèle global, dans le cas de la crevette présente cependant plusieurs problèmes :

- a) il ne s'applique pas bien à des espèces à courte durée de vie, avec des stratégies démographiques de type « r » (faible longévité, petite taille, reproduction précoce, forte fécondité, dépendance du succès de la reproduction aux facteurs hydro-climatiques...),
- b) il y a eu des changements importants dans la pêcherie, dont le modèle ne tient pas compte :
 - les données incluent la période où la pêcherie était américaine (USA) durant laquelle les débarquements ont été moins contrôlés,
 - il y a eu changement du maillage, passant de 40mm à 45mm (fin des années 70),
 - création d'une zone d'interdiction de pêche en deçà de 30m, avec plus ou moins du respect de cette zone,
 - dans les années 2000, changement dans zones de pêche à cause des prix du carburant.

Donc, ils ont pêché plus près, et surtout, dans la zone interdite en-deçà des 30m (augmentation des rendements). Ceci ne tient pas compte d'ailleurs, de la pêche illégale des bateaux coréens dans les années 1990. Tous ces facteurs suggèrent que le modèle global ne s'adapte pas bien à ce type de pêcherie. Rétrospectivement, les conclusions de ce modèle, qui laisse penser que l'on est en mesure de continuer l'exploitation, est en contradiction avec la réalité des diminutions drastiques des captures.

8.2. Approche analytique : rendement par recrue

L'approche analytique, ou dit « structurée en âge », peut s'appliquer aux ressources stables ou instables et les hypothèses sous-jacentes sont moins contraignantes. Nous allons donc,

appliquer un modèle structural à l'aide de spectres de classes de taille des captures et des mortalités par pêche obtenus par VPA.

Paramètres du calcul :

Le calcul a été réalisé en se basant sur la situation de l'année 2008, dernière année de la série utilisée, avec les paramètres de croissance et de mortalité figurant dans le tableau 8.1.

F moyennes sur 2008 par classe age			Linf	K	M	
MALES	FEMELLES	MOY				
0.0000	0.0110	0.01	Femelles 58.62	0.173	0.15	
0.0067	0.2450	0.13	Males 51.76	0.139	0.15	
0.1777	0.8147	0.50	MOY==>	0.156	0.15	
0.7536	0.8641	0.81				
1.5132	0.8098	1.16	CÂ	Fref	Wmoy-pond	Og fec
0.9041	0.7140	0.81	2	0.01	2.80	0%
0.3000	0.3000	0.30	3	0.13	6.27	100%
			4	0.50	15.16	100%
			5	0.81	24.00	100%
			6	1.16	33.16	100%
			7	0.81	42.12	100%
			8+	0.30	50.29	100%

Tableau 8.1 : Paramètres de calcul du modèle structuré en classes d'âge

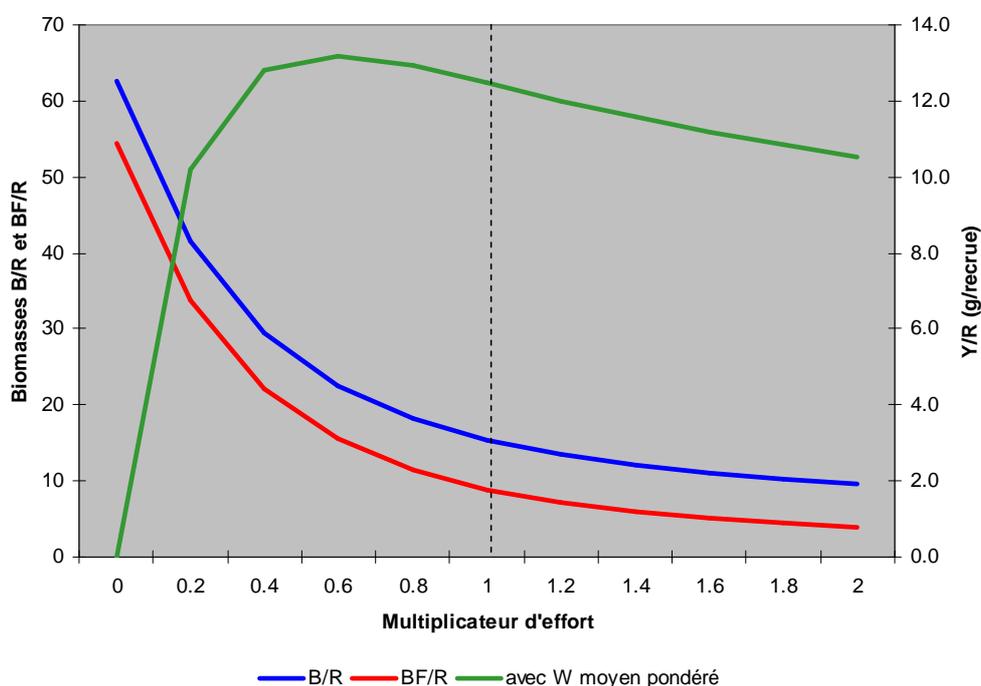


Figure 8.4 : Evolution des captures selon les paramètres du tableau 8.1, par classe d'âge et par multiplicateur d'effort (base 2008)

L'analyse de la figure 8.4 amène les réflexions suivantes :

- 1.- Pour le multiplicateur d'effort $mE=1$, qui est la situation 2008, la biomasse par recrue (courbe bleue) n'est que de 13 g/recrue. Ce qui représente 20% de celle calculée pour le multiplicateur d'effort $mE=0$ (63 g/recrue),

- 2.- La biomasse féconde par recrue BF/R pour $mE=1$ est déjà très faible, avec 7% de celle calculée pour un multiplicateur d'effort $mE=0$ (courbe rouge), et risque de compromettre le renouvellement du stock,
- 3.- Pour la courbe de rendement par recrue (courbe verte), l'effort de maximisation se trouve autour du multiplicateur d'effort $mE=0.4$, donc pour $mE=1$ nous sommes en surexploitation de croissance.

La pêche se trouve donc, en surexploitation de croissance, avec une faible biomasse féconde par recrue. En diminuant l'effort à 40% de l'actuel (diviser l'effort d'un peu plus de la moitié), les rendements par recrue augmenteraient de 35%, tout en permettant que la biomasse féconde augmente ($BF/R_{0.4} = 50\%$ de BF/R_0). Cette pêche se trouve donc dans une situation doublement défavorable : elle cumule une mauvaise utilisation du recrutement à un recrutement lui-même en diminution.

Cette approche présente donc, plus de nuances et une situation plus réaliste que celle issue du modèle global.

8.3. Approche de précaution

A la lumière des résultats de l'approche analytique, la question du renouvellement du stock se pose. Pour essayer de voir plus clair, nous essayerons de mettre en place une approche de précaution, qui est une démarche empirique, actuellement très utilisée pour les avis et recommandations scientifiques du CIEM dans le domaine des pêcheries.

Calcul des biomasses B_{lim} et B_{pa} :

L'estimation du B_{lim} est empirique et se base sur l'observation de la dispersion des points de la figure Biomasse féconde-Recrutement (figure 8.5). Nous n'observons pas de relation claire entre les deux paramètres. Aucune corrélation significative n'a pas pu être mise en évidence. Il reste donc impossible de calculer les paramètres B_{lim} et B_{pa} .

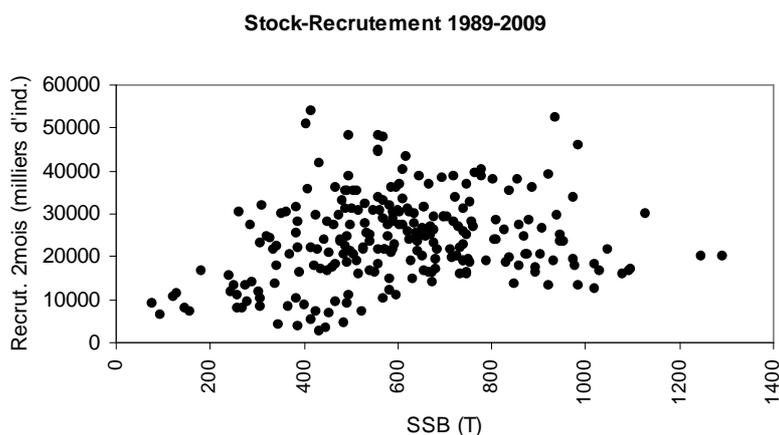


Figure 8.5 : Relation biomasse féconde - recrutement

Calcul des mortalités par pêche F_{lim} et F_{pa} :

La mortalité F_{lim} est celle au-delà de laquelle l'impact sur le recrutement est sensible. Dans la figure 8.6, nous observons l'augmentation régulière de F de 1990 jusqu'en 2000. Autour de

l'année 2000, la valeur de F3-7bar atteint 0.9 et la biomasse féconde connaît une forte chute de sa valeur. Nous prenons donc $F_{lim} = 0.87$. Le calcul de F_{pa} produit une valeur de $F_{pa} = 0.53$, peu crédible, que nous ne prendrons pas trop en considération.

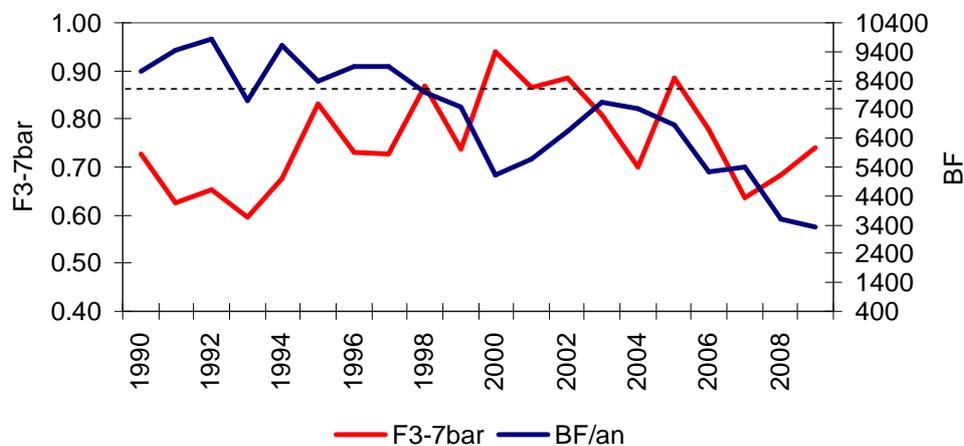


Figure 8.6 : Evolution de F3-7bar et biomasse féconde. Définition de Flim

Dans les figures 8.7 à 8.11 est présentée l'évolution des paramètres servant à élaborer le diagnostique.

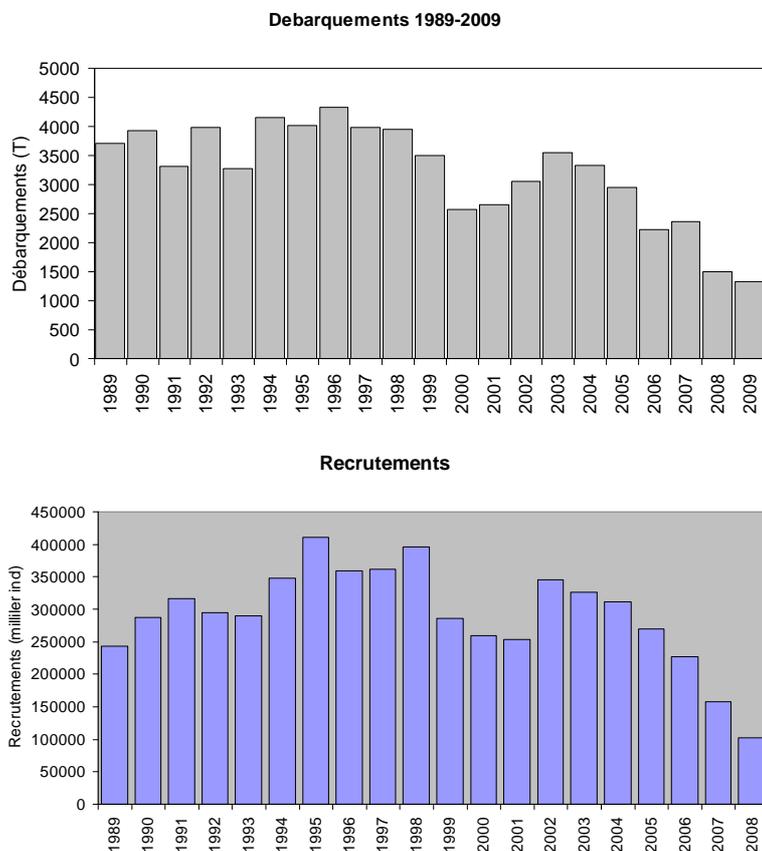


Figure 8.7 : Evolution des débarquements et recrutements sur la période 1989-2009

Evolution mensuelle de F3-7bar

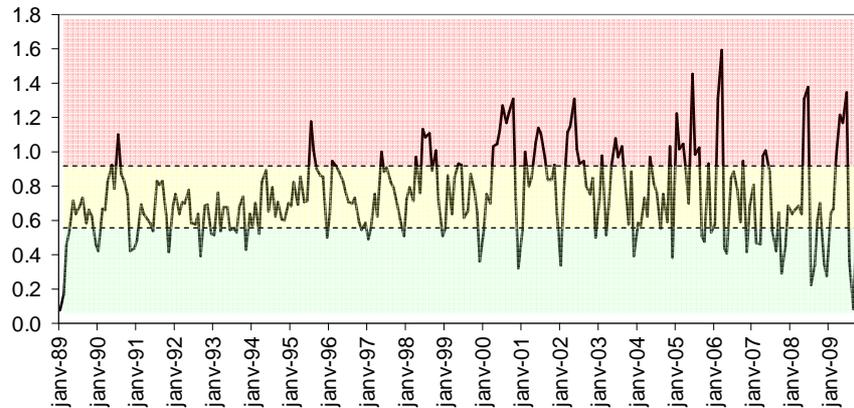


Figure 8.8 : Evolution de la mortalité par pêche F3-7bar, avec Flim (tirets verts – ou noirs ?) et Fpa (tirets noirs – ou verts ?)

Stock de géniteurs (SSB)

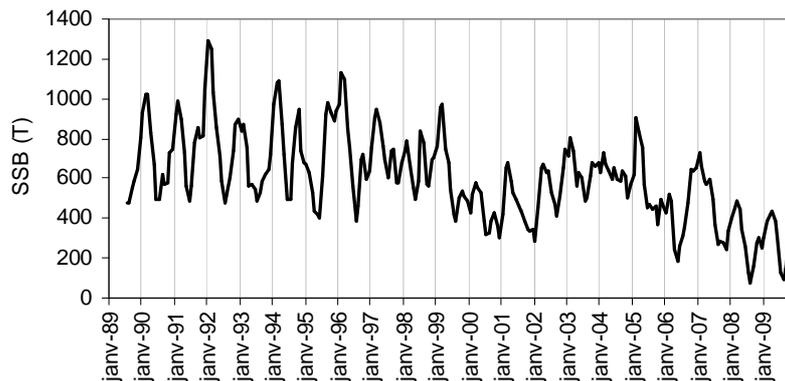


Figure 8.9 : Evolution de la biomasse féconde (t/an)

Recrutement-Stock 1989-2009

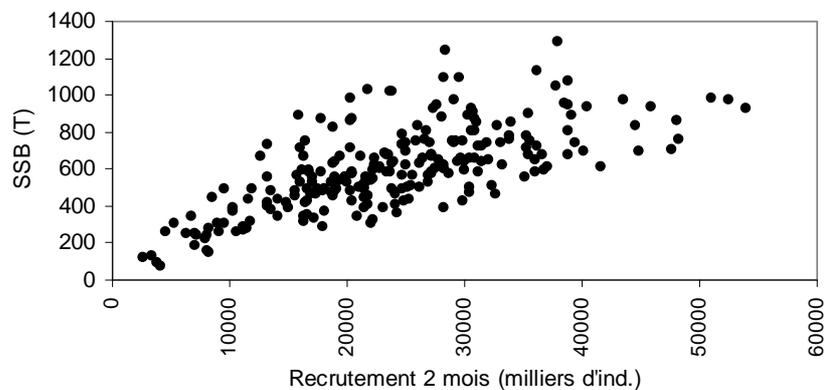


Figure 8.10 : Relation recrutement - biomasse féconde

Graphique de précaution - Crevette de Guyane

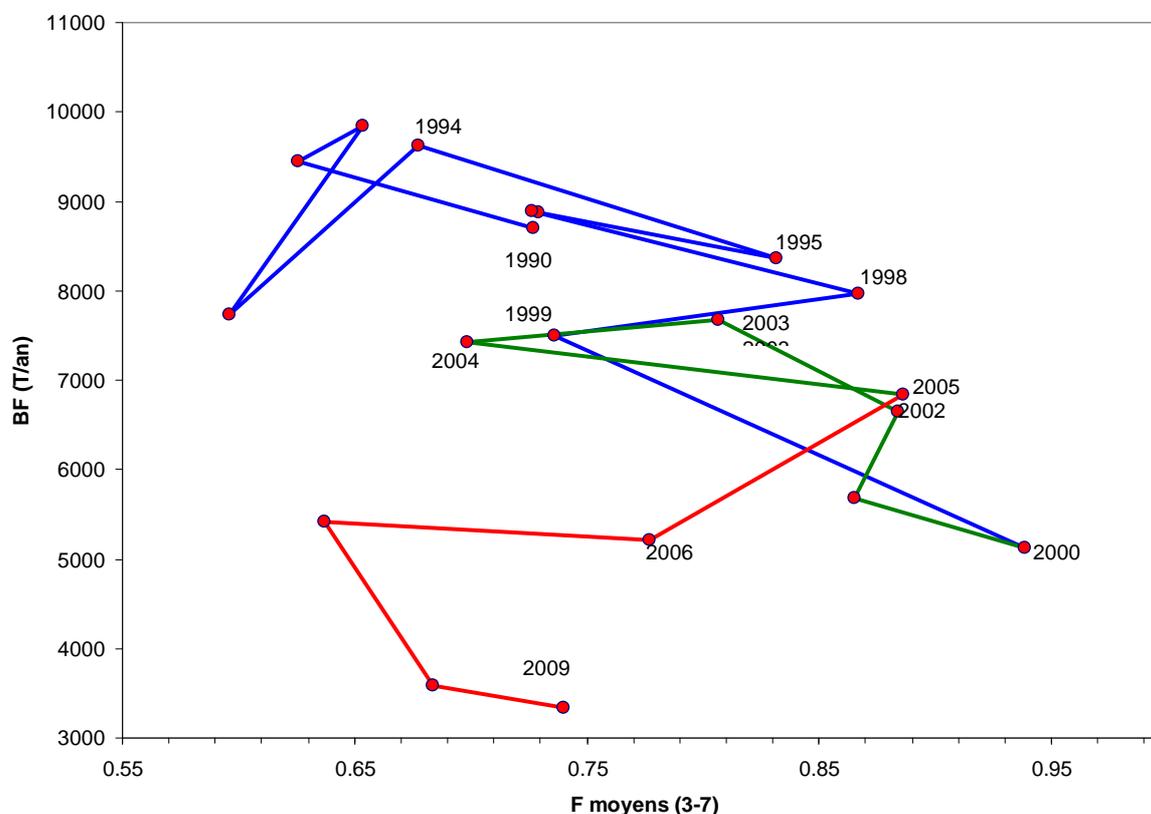


Figure 8.11 : Graphique de précaution pour la crevette de Guyane selon les paramètres définis plus haut

Jusqu'en 1999, les débarquements restent stables et les recrutements sont en progression (figure 8.7). A partir de cette date, les deux diminuent rapidement, et malgré une augmentation dans les années 2003-2004, la tendance s'accélère des 2005. Les mortalités par pêche augmentent régulièrement jusqu'en 2000 et les moyennes restent stables jusqu'en 2005 (figure 8.8) ; puis, elles chutent rapidement, sans que pour autant les niveaux de recrutement et biomasse féconde remontent (figures 8.7 et 8.9). Dans le graphe de précaution (figure 8.11) nous observons l'évolution temporelle de cette pêcherie, qui dans les années 1989 à 1993 se situait en haut et à gauche du graphe, dans la zone de sécurité (faible mortalité et forte biomasse de reproducteurs). Jusqu'en 2000, l'évolution va vers les fortes valeurs de F et les faibles biomasses fécondes (zone de danger). Depuis 1999, une forte augmentation des mortalités par pêche est accompagnée d'une diminution des biomasses, et malgré une brève remontée de 2001 à 2004, avec réduction des mortalités par pêche et augmentation des biomasses, dès 2006 les valeurs de F diminuent, sans qu'il y ait d'amélioration dans la biomasse féconde, restant ainsi toujours dans la zone de danger en 2009.

Cette approche met en évidence le problème de renouvellement de la biomasse féconde, surtout au niveau des mâles pour les années 2000 à 2005. A-t-on trop pêché les juvéniles ?

Cependant, il est à remarquer que les figures des relations Stock-recrutement (figure 8.5) et recrutement-stock (figure 8.10) sont lourdes de conséquences dans leur interprétation :

Dans la figure 8.10, la relation recrutement-stock présente une forte corrélation positive, suggérant que la biomasse féconde, et celle du stock en général, dépendent du niveau du recrutement. Donc, plus il y aura de recrues, plus le stock halieutique sera fort.

Mais un plus grand intérêt est à prêter à la figure 8.5, où la relation stock-recrutement n'est pas significative. Ceci suggère que le niveau du recrutement n'est pas lié au stock de géniteurs, donc à la pression de la pêche sur ce stock.

Il est accepté en règle générale, que les espèces marines produisent une très forte quantité d'œufs pour palier aux problèmes de survie dus à la prédation, manque de nourriture et influence des facteurs climatiques. Ces facteurs, « autres » que la pêche sembleraient donc en cause pour expliquer cette baisse du stock de la crevette de Guyane.

Donc, si le facteur pêche n'est pas le facteur principal qui pourrait expliquer le déclin des recrutements, il reste à rechercher les facteurs climatiques, trophiques ou environnementaux qui pourraient en être en cause.

PARTIE 2

DEVELOPPEMENT DES HYPOTHESES SUR LES CAUSES DE LA CRISE

CHAPITRE 9 : SCENARIOS POSSIBLES

Dans ce chapitre sont développées les hypothèses qui ont été évoquées dans le chapitre 2 pour lesquelles nous disposons de données, et celles qui pourraient permettre d'expliquer les causes des crises de la crevette en Guyane. Dans un rapport ultérieur, seront abordées les corrélations pouvant exister entre les données de la crevette et les séries environnementales.

9.1 Effet de la pêche crevettière elle-même

Lors de l'effondrement d'une pêcherie, la première question posée est : y a-t-il eu surpêche ? Dans le cas de la pêcherie de la crevette en Guyane, le TAC de 4108 T a toujours été respecté, et a priori, la pêche illégale liée aux incursions de navires étrangers a été éradiquée. Mais à la lumière des nouvelles estimations des paramètres de croissance des crevettes guyanaises, il nous est possible de re-évaluer le stock et le comparer avec les débarquements.

Evaluation du stock

La première estimation des coefficients de croissance des crevettes du plateau des Guyanes, a été publiée par Isaac et al. en 1992. Elle a permis d'effectuer des calculs du stock guyanais de crevettes (*Farfantepenaeus subtilis*) dans le cadre de la COPACO, lors des ateliers de travail de Port of Spain (1997), Georgetown (1998), Belém (1999) et Cumaná (2000). Néanmoins, les coefficients utilisés correspondaient au stock des crevettes du nord du Brésil. Lors du rapport FAO Fisheries Report No. 628 (2000), Charuau et Die, conseillent déjà d'effectuer des évaluations des coefficients de croissance des crevettes pour le secteur de pêche guyanais afin d'améliorer les calculs du stock.

A partir de 2000, les ateliers de travail pour l'évaluation du stock de la COPACO s'arrêtent par manque de financement. L'Ifremer continue alors à réaliser chaque année, des évaluations du stock avec les mêmes paramètres de croissance. En 2004, un premier travail d'Olivier Doquin à l'Ifremer (Doquin 2004), permet d'obtenir les paramètres de croissance de *F.subtilis* avec des échantillons guyanais. Une nouvelle estimation est réalisée à l'Ifremer par Antony Viera en 2006 (Philippe Vendeville et al. 2008), obtenant des valeurs proches de celles obtenues par Doquin (tableau 3.1).

Les calculs réalisés avec les paramètres de croissance obtenus par Viera, montrent que la biomasse du stock est inférieure de 50% à celle obtenue avec les coefficients de COPACO (figure 3.9). Cette différence pourrait encore être supérieure si nous considérons que la classe d'âge de plein recrutement est respectivement de 4 et 3 mois pour les mâles et femelles (voir chapitre 5 : Rejets et Juvéniles).

Nous constatons alors la faible marge existant entre le stock calculé et le TAC de 4 108 T de la Commission Européenne. Les débarquements suivent de près l'évolution temporelle des biomasses calculées, et la pêcherie n'arrive plus à capturer le tonnage de la TAC dès la fin des années 1990.

Biomasse féconde

Dans le cas de la crevette en Guyane, cette biomasse féconde a été diminuée de moitié en 20 ans (figure 3.11). Dans la gestion des pêcheries par « l'approche de précaution », nous

observons la plongée des biomasses fécondes malgré la diminution des mortalités par pêche (coefficient F) de ces dernières années (figure 8.11).

Pêche de juvéniles

Le pourcentage de juvéniles pêchés avait atteint 25% des débarquements en 2000 (hors rejets), puis cette valeur diminue jusqu'en 2007 (figure 5.1) pour se stabiliser aux alentours de 2%, suggérant une raréfaction des juvéniles dans les zones de pêche fréquentées depuis 2001 (ou une augmentation des rejets ?). Ce pourcentage de 25% de juvéniles pêchés est cependant sous-évalué car il ne tient pas compte des rejets des crevettes de petite taille sans valeur commerciale. Les campagnes réalisées en 2003 et 2004, pour estimer le niveau des rejets en mer, montrent qu'en 2004, jusqu'à 50% des crevettes pêchées ont été des juvéniles (figure 5.2).

Pêche de mâles

Cette pêche de juvéniles a eu également comme conséquence de déséquilibrer le sex-ratio en diminuant le nombre de mâles (figure 4.9), à cause de la distribution déséquilibrée, par classe de taille et par sexe, en faveur des femelles (figure 4.5). La possibilité de rencontre entre mâles et femelles est alors diminuée et le taux de fécondation diminué.

Approche par modèles

Le TAC avait été calculé sur la base d'un modèle global de Schaefer ($r=0.92$, $K=18500$ et $q=1.7707E-0.5$), avec des valeurs des débarquements remontant à 1968 (pêche USA et Japon), mais avec des statistiques de structure en taille réalisées par l'Ifremer qui commencent seulement en 1989.

Toutefois, l'utilisation du modèle global présentant plusieurs inconvénients (cf §8.1), il ne semble pas adapté au cas de la crevette.

Tous ces facteurs se conjuguent pour augmenter les incertitudes liées à la pertinence de ce type de modèle dans le cas de la crevette en Guyane.

Le modèle de « rendement par recrue », pour la situation de 2008, présente une situation de surpêche (figure 8.4). Mais c'est l'approche de précaution qui présente le mieux la difficulté de la pêcherie due aux faibles biomasses fécondes (figure 8.11).

Discussion

L'ensemble de points que nous venons d'aborder, suggère une surévaluation des premières estimations du stock à cause des mauvais paramètres de croissance utilisés, permettant alors de pêcher plus que ce qui aurait dû être autorisé pour maintenir un état d'équilibre. De plus, la forte capture de juvéniles et principalement de mâles, a pu ainsi fragiliser la population guyanaise de crevettes.

Cette forte capture de juvéniles semble être la conséquence de plusieurs facteurs. Les chalutages dans les fonds de 30-40m présentent des juvéniles de crevette se trouvant en densités significatives, contrairement à ce que les dernières études laissaient penser. Puis, l'interdiction de pêche en deçà des 30m n'a pas été totalement respectée, en augmentant la pression sur les juvéniles (figure 7.4). L'utilisation du double maillage dans les chaluts et les temps de pêche supérieures à deux heures peuvent avoir pour conséquence un colmatage des mailles, empêchant les petites crevettes de s'échapper.

Mais ce faisceau d'indices qui pourrait faire apparaître la pêche elle-même comme la cause de leur effondrement, se heurte au fait que nous n'avons pas de relation significative entre la biomasse féconde et les recrutements (figure 8.5). C'est-à-dire que la capacité de renouvellement du stock ne dépendrait pas de la biomasse de reproducteurs, jusqu'à une certaine limite (pas de reproduction s'il n'y a pas de reproducteurs). Des facteurs environnementaux, climatiques ou trophiques peuvent alors être la cause. L'influence de ces facteurs peut en être amplifiée par la fragilisation du peuplement de crevettes à cause des facteurs que nous venons de mettre en évidence plus haut, mais la cause principale est probablement ailleurs. L'évolution des débarquements de crevettes au Suriname est étroitement comparable à celle de la Guyane, suggérant également qu'il s'agit d'un phénomène d'amplitude régionale et non locale.

9.2 Dérive littorale des œufs et larves depuis l'AMAPA

La dérive littorale des eaux océaniques vers le NW est la cause principale de l'arrivée des sédiments amazoniens qui façonnent les côtes guyanaises. Nous pourrions imaginer que celle-ci apporte également les œufs et larves des crevettes depuis le nord Brésil jusqu'aux côtes guyanaises. Ce schéma va à l'encontre de la théorie d'une source d'œufs et larves en provenance du stock guyanais (Philippe Vendeville & Lhomme 1997), mais les indices pour soutenir ce schéma ne manquent pas :

Les courants

Si nous considérons la zone qui s'étend du Suriname jusqu'à l'embouchure de l'Amazone comme un continuum biologique pour *F.subtilis*, nous pourrions imaginer la dérive des larves et œufs du Brésil vers la Guyane suivant les courants océaniques. Puis, ces larves pourraient alimenter le stock local (figure 9.1).

Le trajet réalisé par les œufs et larves varie alors entre 100 et 500 km environ. Ce trajet, s'il doit être effectué en 21 jours (temps du développement larvaire), suppose une vitesse moyenne de 5 à 25 km/jour (soit respectivement 6 et 30 cm/s), ce qui est parfaitement compatible avec les mesures de vitesses des courants dans la région, qui elles sont de l'ordre de 30 à 200 cm/s (Baklouti et al. 2007; Rockwell Geyer et al. 1996). L'utilisation d'un modèle d'advection régional pour intégrer les vents, les courants et les débits des fleuves, permettrait une estimation plus précise de la probabilité que les œufs et larves du stock de l'Amapa soient à l'origine des nourriceries guyanaises.

Les vents

Si les vents soufflent du secteur nord, ils influencent la dérive des masses d'eau de surface en bloquant la dérive de la plume amazonienne sur les côtes guyanaises (Rockwell Geyer et al. 1996). Notre étude du régime des vents en Guyane (qui sera abordé en détail dans le volume 2 de cet étude), montre que le régime des vents a changé ces dernières années, avec augmentation de la fréquence des vents des secteurs NE et NNE, et peu d'augmentation de leur force ; puis, diminution des la fréquence et la force des vents de ENE et ESE. Ceci pourrait alors avoir des conséquences défavorables pour l'arrivée des larves et des œufs en provenance du nord du Brésil.

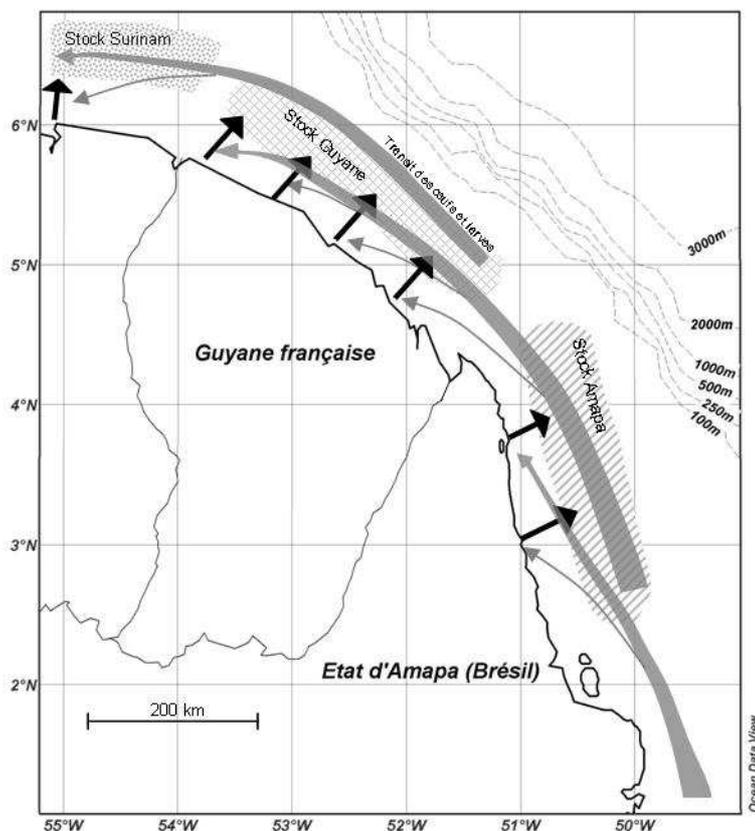


Figure 9.1 : Hypothèse sur la distribution des œufs et larves depuis les stocks de l'Amapa, vers la Guyane et le Surinam par la dérive littorale

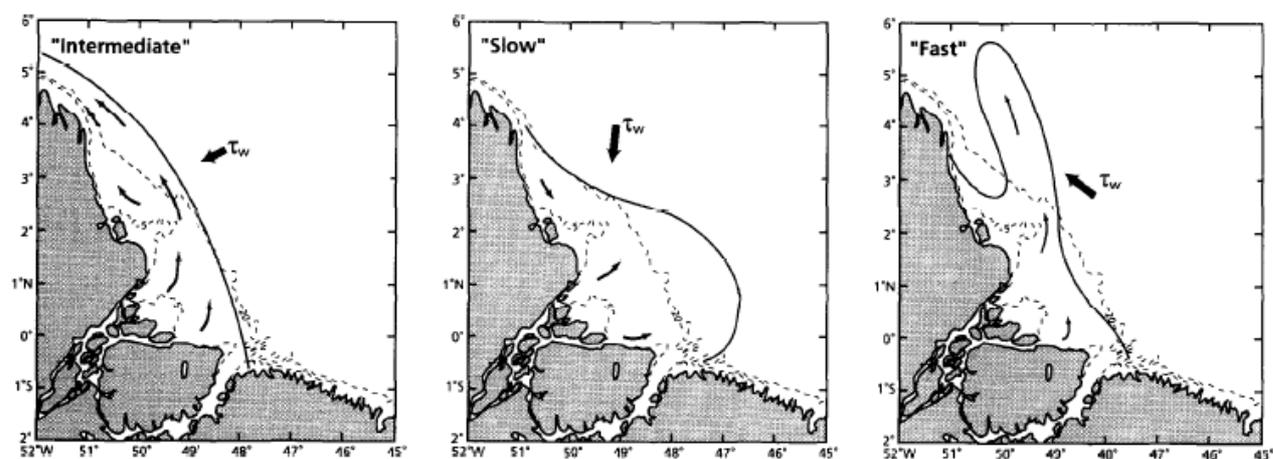


Figure 9.2 : Effet du vent sur la dérive de la plume amazonienne (Rockwell Geyer et al. 1996)

Effet de la pêche crevettière dans le nord du Brésil

C'est dans l'état du Para que l'essentiel de la pêche crevettière du nord Brésil est débarquée (états du Para et de l'Amapa). La figure 9.3 présente les débarquements des crevettes de 1970 à 2007 dans l'état du Para, où nous observons des maximums en 1988, 1993, 1998 et 2006. Ces deux dernières années coïncident avec les chutes de recrutements calculés par VPA en Guyane.

La pêche à la crevette dans le nord du Brésil est constituée d'une pêche industrielle, similaire à celle pratiquée en Guyane, et d'une pêche artisanale, ciblant les petites tailles (30mm) dans les zones estuariennes. Cette pêche artisanale des crevettes (déclarée) représentait environ 10 % de la pêche des crevettes (en poids) dans l'Etat de Para en 2007 (IBAMA 2007). Il se peut toutefois, que nombre de crevettes déclarées comme « crevette brune » par la pêche artisanale appartiennent à d'autres espèces.

Si en poids, la pêche industrielle représente 90% des débarquements (tableau 9.1), en nombre d'individus, elle ne fait que 6%. Plus que l'effet de la pêche industrielle sur le stock, la pêche artisanale peut mettre en péril le recrutement (Garcia 1983). Malheureusement les statistiques de la pêche artisanale au Brésil commencent en 2001 et finissent en 2007.

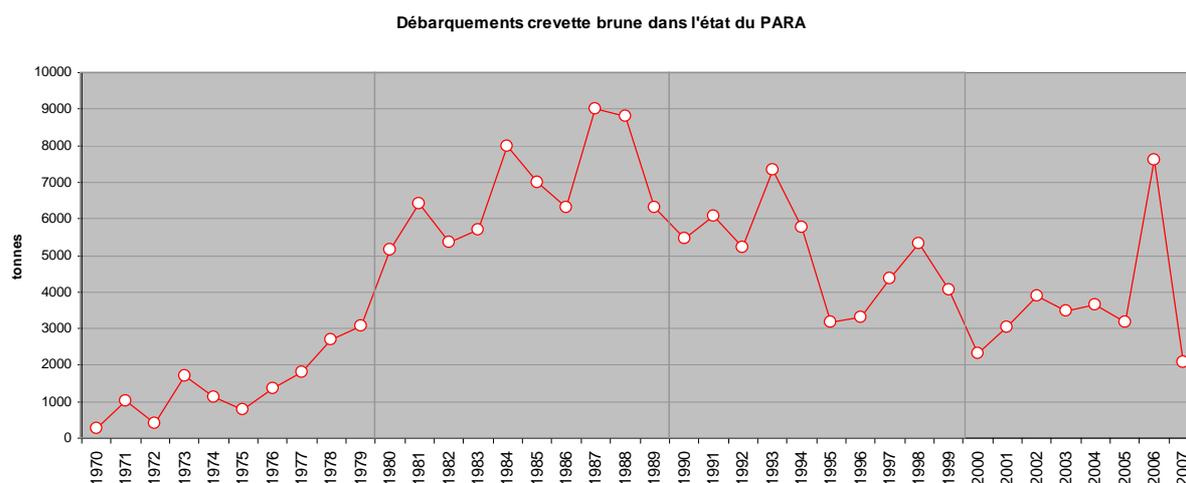


Figure 9.3 : Production débarquée dans l'état du Para, au Brésil de crevette brune (*F. subtilis*) de 1970 à 2007. Source Ibama et Issac, 1992 et IBAMA (2007)

pêche	Taille LT moyenne	Poids débarqué	N° individus
Industrielle	143mm	≈ 1800 T (90%)	90 000 000 (6%)
Artisanale	30mm	≈ 200 T (10%)	1 500 000 000 (94%)

Tableau 9.1 : Pourcentage en poids et en nombre des secteurs de pêche dans le nord du Brésil en 2007 (source IBAMA)

Discussion

Si l'origine brésilienne des larves des côtes guyanaises était confirmée, comme le laisse supposer les études des courants marins, alors le changement de régime des vents pourrait ralentir le flux des œufs et larves et ainsi expliquer en partie les problèmes de recrutements observés.

De plus, la quantité des œufs et larves produites au nord Brésil, qui supporte une forte pression de pêche industrielle et côtière, peut elle-même être influencée par l'état du stock brésilien plus au sud. Cependant, à ce jour aucune relation stock-recrutement n'a pas été mise en évidence pour les populations de *F. subtilis* du Brésil, l'hypothèse de surpêche au Brésil pour expliquer la baisse du stock en Guyane ne peut donc être supportée.

9.3 Changement dans le réseau trophique - cas du Vivaneau rouge (prédateur)

La sélectivité de la pêche affecte la taille et l'âge des populations exploitées (Brander 2007). Ceci peut avoir comme effet, de favoriser l'augmentation de juvéniles au détriment des plus gros spécimens, en changeant ainsi les échanges dans le réseau trophique. Une augmentation des juvéniles de poissons, peut avoir un impact non négligeable sur les proies qui lui sont propres à cette classe de taille et dans la zone géographique où ils se développent. Ce phénomène se produirait-il dans le cas de la pêcherie du Vivaneau en Guyane ?

La pêche au Vivaneau en Guyane est pratiquée par des ligneurs vénézuéliens qui ont comme obligation, de débarquer 75% de leur pêche à Cayenne. Cette pêche qui existe depuis plus de vingt années, est complétée par une pêche de casayeurs martiniquais qui reste cependant très minoritaire par rapport aux ligneurs. Les débarquements des Vivaneaux oscille entre 1000 et 1500 t/an pour 4000 à 4500 jours de mer des ligneurs vénézuéliens (Caro et al. 2011; Caro 2010).

Les dernières estimations des stocks, réalisés par VPA à l'Ifremer, présentent une augmentation significative de juvéniles à partir de 2005 (figure 9.4).

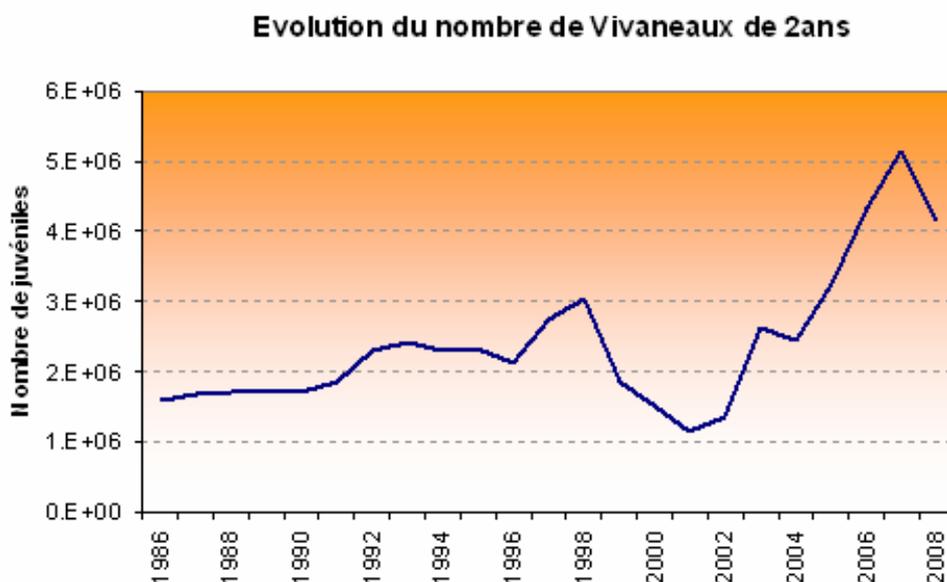


Figure 9.4 : Evolution du nombre de juvéniles de Vivaneau de 2 ans sur le plateau guyanais selon les calculs par VPA

Entre 2004 et 2005, il y a eu une augmentation d'environ un million d'individus de la classe d'âge de 2 ans. Il a été de même pour l'année suivante. Si ce million d'individus mange des crevettes d'environ 2 mois d'âge, nous pouvons calculer le nombre de crevettes qui disparaissent comme conséquence de cette augmentation de la population de juvéniles de Vivaneau.

La taille des juvéniles de 2 ans de vivaneaux est de 23 cm environ, à 3 ans ils mesurent en moyenne 31 cm. Ces juvéniles se trouvent sur des profondeurs de 10 à 30 m, où les juvéniles de crevettes se trouvent également. La taille d'une crevette de 2 mois est d'environ 7 à 10cm, compatible alors, avec la taille de la bouche d'un vivaneau de 2 ans.

Pour réaliser ce calcul, nous posons les hypothèses suivantes :

- nombre de crevettes consommées par un million de juvéniles de Vivaneau de 2 ans,
- rendement trophique : $V_x \approx 20\%$ (Pérès 1976),
- pourcentage de crevette dans le régime alimentaire du Vivaneau : 10% (Santamaría-Miranda et al. 2005).

Avec ces hypothèses, un million de Vivaneaux consomment soixante-dix millions de crevettes de 2 mois (2006). En 2006, le recrutement des crevettes de 2 mois, a été de 226 millions, donc l'augmentation d'un million de juvéniles de Vivaneau a pu entamer de 30% le stock de crevettes de 2 mois en 2006.

Ces chiffres montrent l'ordre de grandeur, qui reste significative, au niveau du stock de crevettes. Nous ne pouvons pas extrapoler ce calcul aux autres espèces prédatrices commercialisés par manque de données, mais le seul effet du Vivaneau pourrait expliquer en partie la pression exercé sur le stock de juvéniles de crevettes suite à la pression de pêche sur le Vivaneau.

9.4 Effet des changements des facteurs abiotiques

Une étude complète est détaillée dans le volume 2 de cette étude. Seront abordés, en relation avec l'évolution du stock, les évolutions de la température de l'eau de mer, de la pluviométrie, les débits des fleuves côtiers guyanais, le débit de l'Amazone, ainsi que les vents et houle depuis 1989.

CHAPITRE 10 : CONCLUSIONS

Malgré les signaux inquiétants liés à la pêche, le manque de corrélation entre la biomasse féconde et les recrutements suggère qu'un autre facteur est la cause principale de la crise actuelle de la crevette en Guyane. Nous pouvons cependant, avancer déjà un scénario de phénomènes qui ont pu mener le stock et les débarquements de crevettes pénéides à la situation de crise actuelle.

Suite aux mauvaises évaluations du stock de crevettes à cause de l'utilisation des paramètres de croissance non pertinents (surévalué d'un facteur x2), et de l'utilisation du modèle global, qui s'avère pas adapté au cas de la crevette, il y a eu un excès de pêche d'adultes et de juvéniles qui ont fragilisé les stock et la phase pré-recrutée.

L'hypothèse de la dérive littorale des œufs et larves de crevettes du nord du Brésil vers les côtes guyanaises aurait une double conséquence négative dans l'évolution du stock guyanais. Premièrement, le changement du régime des vents des dernières années qui empêche le libre écoulement des eaux de surface vers le nord-ouest, puis, l'impact de la pêche des crevettes (adultes et juvéniles) au nord Brésil sur la quantité des œufs pondus.

Dans le cas de la pêcherie du Vivaneau en Guyane, après calcul du stock par VPA, il a été remarqué une augmentation très significative de juvéniles ayant un impact probable sur la crevette par augmentation de la prédation. L'évolution de la pêche au vivaneau a eue pour effet de restructurer le spectre de classes d'âge en diminuant le nombre des individus plus âgés ; c'est une conséquence bien connue dans toute pêcherie. Ces juvéniles partagent le territoire des crevettes, qui constituent la nourriture de la plupart des poissons côtiers. La consommation ainsi induite peut conduire à une diminution du nombre de juvéniles. Suite au développement de la pêche côtière en Guyane, la question reste posée sur la validité de processus pour d'autres espèces prédatrices de la crevette.

Donc, à un stock fragilisé par une pression de pêche forte, ce sont ajoutées de paramètres environnementaux et de dynamique de populations exploitées qui ont fait basculer le système des 2005.

D'autres facteurs environnementaux tels que l'augmentation de la température moyenne des eaux, dont nous ne connaissons pas l'effet direct sur le développement des œufs et larves de crevettes, mais qui diminue la biomasse phytoplanctonique disponible pour les larves de crevettes dans leur phase pélagique (par la stratification des eaux) pourraient avoir également des conséquences sur le recrutement. Les récents travaux de Boyce (2010) mettent l'accent sur ce point.

Il reste donc à explorer d'autres facteurs environnementaux capables d'expliquer ce basculement. C'est le travail que nous proposerons dans le volume 2 de cette étude.

Bibliographie

- Baklouti, M. et al., 2007. New insights in the French Guiana continental shelf circulation and its relation to the North Brazil Current retroflexion. , 112(C020023), 1-18.
- Baudrier, J. et al., 2006. *La pêcherie crevettière guyanaise : Evaluation du volume des captures accessoires et des rejets de crevettes par observateurs embarqués* , Cayenne: Ifremer.
- Brander, K.M., 2007. Global fish production and climate change . *Proceedings of the National Academy of Sciences* , 104 (50), 19709 -19714 .
- Caro, A., 2010. *Description de la pêcherie vénézuélienne de Vivaneaux rouges (Lutjanus purpureus) dans la ZEE de Guyane française de 1986 à 2008*, Cayenne: Ifremer.
- Caro, A., Lampert, L. & Thomas, M., 2011. *Description de la pêcherie vénézuélienne de vivaneaux dans la ZEE de Guyane et évaluation du stock de vivaneau rouge (L.purpureus) en 2010*, Cayenne: Ifremer.
- Doquin, O., 2004. *Révision des paramètres de croissance de la crevette Penaeus subtilis et étude de la faisabilité d'un modèle ECOPATH de l'écosystème littoral guyanais.*, Cayenne: Ifremer.
- Garcia, S., 1983. The stock recruitment relationship in shrimps : reality or artefacts and misinterpretations ? *Océanographie Tropicale*, 1(18), 25-48.
- IBAMA, 2007. Estatística da pesca 2007 - Brasil.
- Isaac, V., Dias Neto, J. & Damasceno, F., 1992. *Camarao Rosa da costa Norte: biologia, dinamica et administracao pesqueira*, Brasilia: IBAMA.
- Lampert, L., 2011. *Mode d'emploi du Scrip R pour le calcul par VPA du nombre de recrues de crevettes et de leur biomasse.*, BIODIVHAL 2011-3, Cayenne: Ifremer.
- Pérès, J., 1976. *Précis d'Océanographie biologique. Presses Universitaires de France, Paris: 239pp.*, Paris: Presses Universitaires de France.
- Punt, A. & Hilborn, R., 1996. *BIODYN Biomass dynamic models. User's manual.*, Rome: FAO.
- Rockwell Geyer, W. et al., 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 16(5-6), 575-616.
- Santamaría-Miranda, A. et al., 2005. Hábitos alimenticios del pargo amarillo Lutjanus argentiventris y del pargo rojo Lutjanus colorado (Pisces: Lutjanidae) en el norte de Sinaloa, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 40(1), 33-44.

Vendeville, P. & Lhomme, F., 1997. *Le cycle vital et le recrutement de la crevette Penaeus subtilis en Guyane*, Cayenne: ORSTOM Cayenne.

Vendeville, P. et al., 2008. *Durabilité des activités halieutiques et maintien de la biodiversité marine en Guyane*, Cayenne: Ifremer.

Glossaire

Blim = Biomasse féconde limite dans l'approche de précaution

Bpa = Biomasse de précaution dans l'approche de précaution

CÂ = Classe d'âge

COPACO = Commission des pêches pour le Pacifique occidental et central (WECAFC en anglais)

F = Coefficient de mortalité par pêche

Flim = Coefficient de mortalité par pêche limite dans l'approche de précaution

Finit = valeur de F initiale pour le calcul par VPA

Fpa = Coefficient de mortalité par pêche de précaution dans l'approche de précaution

IBAMA = Institut brésilien de l'environnement et des ressources renouvelables

LC=CL = Longueur céphalo-toraxique

Linf = Taille asymptotique des poissons (taille moyenne des poissons les plus âgés)

LT = Longueur totale

K = Coefficient de vitesse de croissance selon le modèle de von Bertalanffy

l'état du stock par classe d'âge

M = Coefficient de mortalité naturelle

TAC = Total autorisé de captures

TP = Relation Taille-Poids

VPA = En anglais « Virtual Population Analysis », méthode de calcul permettant d'estimer

ANNEXE

**Modélisation bioéconomique, outil d'intégration pour évaluer la
dynamique des pêcheries face aux changements économiques et
environnementaux.**

Le cas de la pêche crevettière en Guyane de 1993 à 2006.

C. Chaboud*
Ph.Vendeville*
F.Blanchard**

* IRD, CHR Sète
** IFREMER, Cayenne

Des changements majeurs sont aujourd'hui observés dans les écosystèmes marins et les activités humaines qui en dépendent, en particulier la pêche. Si les écosystèmes sont naturellement variables, les changements observés soulèvent des inquiétudes croissantes, à la fois en terme de pertes de biodiversité des peuplements marins et de la capacité de ces peuplements à absorber ces changements sans être radicalement transformés. Ces inquiétudes portent également sur la viabilité des pêcheries, et plus largement des modes actuels d'utilisation des ressources marines vivantes. Il paraît alors important d'évaluer la capacité d'adaptation des pêcheries face à de tels changements et l'intérêt pour les politiques publiques antérieures et futures à améliorer cette capacité.

La pêche crevettière en Guyane est face à de nombreux bouleversements liés aux changements globaux. D'un point de vue économique, le principal problème est la mondialisation du marché de la crevette avec une tendance à la diminution des prix réels. Ceci est essentiellement dû à l'augmentation de la production de crevettes issues d'aquaculture « à bas coût » dans les économies émergentes. L'augmentation du prix du gasoil à l'échelle mondiale est le second facteur macroéconomique ayant un impact dramatique sur l'industrie.

D'un point de vue environnemental, le recrutement des deux principales espèces cibles semble avoir diminué ces dix dernières années, probablement en relation avec les changements hydro-climatiques.

La modélisation bioéconomique est un moyen de recherche utile pour analyser la capacité d'adaptation des pêcheries face aux changements. Un modèle de la pêche crevettière au chalut en Guyane a été conçu dans le but de :

- 1- Reproduire les dynamiques de la pêche au travers de ces 10 dernières années
- 2- Simuler la réponse de la pêche aux changements économiques (marché de la crevette et coût du gasoil) mais aussi aux perturbations environnementales*
- 3- Evaluer les conséquences des politiques publiques sur la viabilité économique de la pêche

Cette communication sera organisée comme il suit. Après une brève introduction sur les dynamiques antérieures de la pêche crevettière en relation avec son contexte, le modèle est présenté et ses principaux résultats sont discutés. Quelques scénarios seront ensuite analysés. Parmi l'ensemble des scénarios, de nouvelles orientations des politiques publiques seront discutées.

Ce travail scientifique s'est déroulé de 2006 à 2008. Cette expérience s'inscrit dans le programme « CHALOUPE » (<http://www.projet-chaloupe.fr>) financé par l'Agence Nationale française de la Recherche (ANR). L'objectif de ce programme était d'étudier la capacité d'adaptation des populations marines exploitées et des pêcheries, face aux changements environnementaux et économiques avec 3 cas d'étude : le Golfe de Gascogne, le Maroc et la Guyane.

1. Les dynamiques antérieures de la pêche crevettière en Guyane

1.1. La phase de développement

L'exploitation des stocks¹ de crevettes en Guyane a commencé dans les années 60 quand les crevettiers américains, opérant déjà dans la pêche américaine du Golfe du Mexique, ont étendu leurs zones de pêche jusqu'au plateau continental de la Guyane, entre le Venezuela et le Brésil (**fig.1**). Pendant près de 20 ans Cayenne (Guyane) et Paramaribo (Suriname) ont servi de port local de débarquement pour les crevettiers américains afin de transférer leurs captures vers le marché américain. Plus de 400 crevettiers américains ont exploité le stock de crevettes du plateau de la Guyane, soit 20 000 t pour le total des débarquements.

La mise en application de la ZEE des 200 milles en 1977 a eu des conséquences importantes sur cette pêche : le plateau continental de la Guyane et ses ressources existantes sont passées sous contrôle des états côtiers : Suriname, Guyane, France et Brésil.

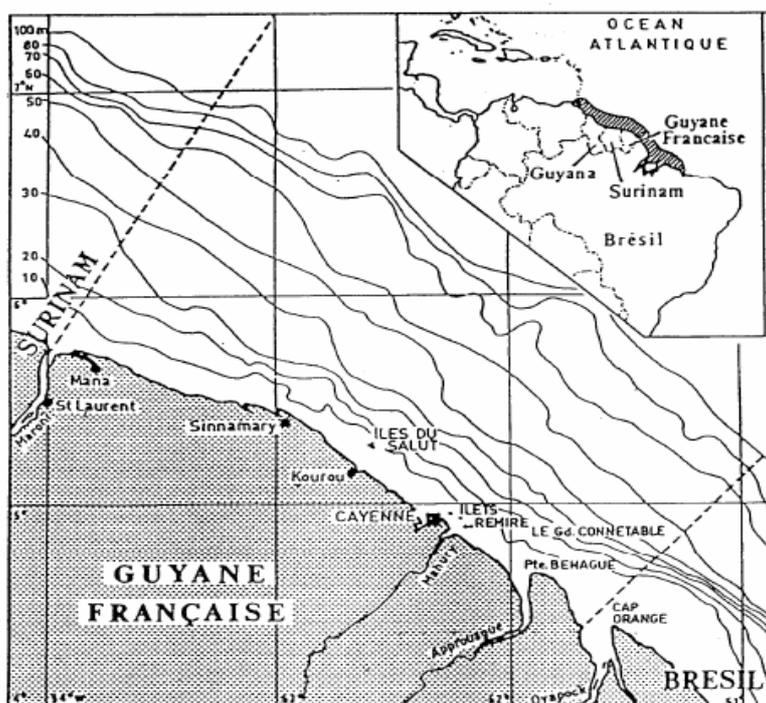


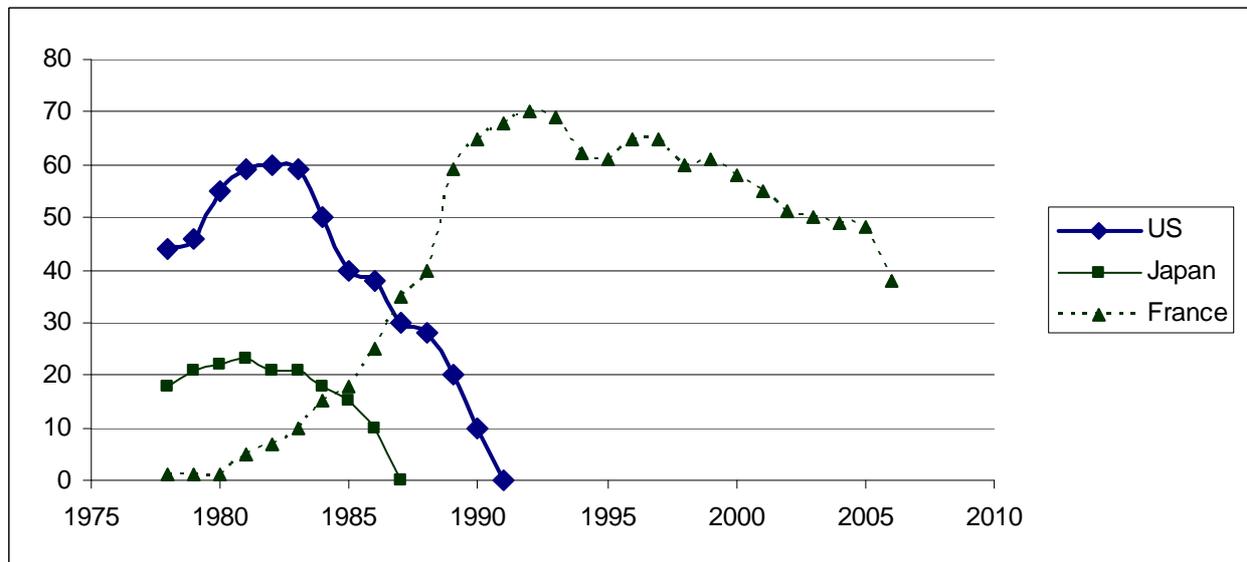
Figure 1. Présentation géographique de la pêche

En Guyane, dans les années 80, l'objectif était de promouvoir la flotte nationale en la substituant à la flotte étrangère toujours en activité dans la ZEE de Guyane. C'était la fameuse « francisation » de la pêche. Cette politique a été soutenue par une forte intervention de l'Etat à travers des subventions et la construction d'infrastructures. Les investisseurs de la métropole ont tiré profit de ces opportunités : en 10 ans, la flotte française de chalutiers à crevettes a augmenté de 0 à 70 unités. (**Fig.2**)

¹ Composés principalement des deux espèces *Farfantepenaeus subtilis* (crevette brune) et *Farfantepenaeus brasiliensis* (crevette rose)

Entre 1982 et 1991, le nombre de chalutiers américains a baissé de 60 à 0 ! Ce développement rapide de la pêcherie de Guyane est aussi lié à la rapide expansion du marché des crevettes pénéides des eaux chaudes aux Etats-Unis, au Japon et en Europe (essentiellement en France et en Espagne). Pendant cette période d'essor, ces pays ont fourni des subventions afin de garantir leurs apports pour satisfaire à la demande croissante en crevettes pénéides tropicales. Par exemple, la France et le Japon se sont concurrencés pour exploiter le stock de crevettes de Madagascar. Une situation similaire a été également observée en Afrique de l'ouest. Pour la France, la Guyane était considérée comme propriétaire de ressources domestiques, par conséquent elle offrait des conditions très favorables aux investisseurs français souvent confrontés à de dures négociations avec les pays en développement.

Un autre aspect explique aussi le succès apparent et rapide de la politique de « francisation ». La Guyane, comme la plupart des autres territoires et départements d'outre-mer souffrait de bases économiques fragiles : une assistance économique externe importante de la métropole, peu d'industries, des coûts de main d'œuvre élevés. Du fait de l'apparence abondante de la ressource, d'un marché extérieur prometteur, la pêcherie crevettière a été considérée comme le secteur clé pour l'avenir de la Guyane avec le secteur spatial (secteur basé à Kourou).



Source: Ifremer.

Figure 2. Nombre de chalutiers depuis la création de la ZEE

Mais l'histoire à succès des années 80 n'a pas duré. Depuis le début des années 90, les entreprises de pêche de la Guyane sont entrées dans une période de difficultés économiques, avec une dette totale élevée à 195 millions de francs en 1990 (Béné et Moguedet, 1996). En 1993, trois entreprises ont été fermées. De 1993 à 2006, la flotte a suivi une tendance de décroissance, due à des facteurs écologiques, économiques et institutionnels. Nous allons à présent concentrer nos analyses sur cette période.

1.2. Les crises durables de la pêcherie

Depuis 1994 à aujourd'hui, la pêcherie a connu une succession de crises décrites dans des publications scientifiques et des rapports administratifs (Béné et Moguedet 1996, Béné 1997, Dintheer et Kalaidjian 2002). Les débarquements (Fig.3) ainsi que le nombre de bateaux

(Fig.2) présentent une tendance à la baisse durant cette période. Les captures par catégorie commerciale indiquent aussi des changements majeurs jusqu'en 1996 (Fig.4). L'effort de pêche a été concentré dans les eaux peu profondes pendant la « francisation » de la flotte, jusqu'en 1995, là où la biomasse de *F. subtilis* est la plus élevée mais principalement composée de petit individus. Ceci explique probablement la grande part de catégories commerciales de petite taille dans les captures. Durant les 15 dernières années, les captures deviennent de plus en plus dominées par les petites crevettes brunes. Ceci a rendu la pêcherie encore plus vulnérable aux échecs de recrutement et aux variabilités environnementales. Il est effectivement bien connu que le recrutement des pénéidés tropicales est fortement influencé par les facteurs environnementaux (Garci et Lereste, 1981).

D'un point de vue économique et social, la pêcherie a connu 2 crises principales : 2000-2001 et à partir de 2006. Les principales conséquences sont une réduction et une concentration de la flotte : aujourd'hui seulement 3 entreprises de pêche demeurent dans l'industrie. Une d'entre elle retient plus de la moitié de la capacité total de pêche. En 2008, cette principale entreprise de pêche retire 9 chalutiers de sa flotte pour pertes économiques, et le total de la capacité de la flotte de la pêcherie a été réduit à 23 unités.

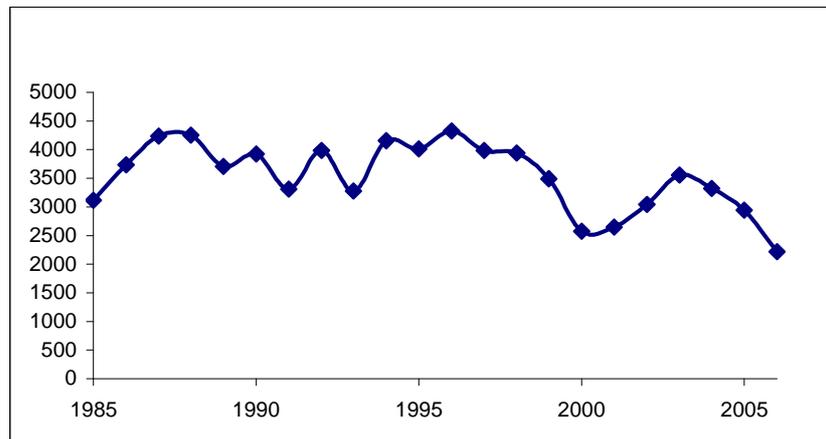


Figure 3. Total des débarquements de crevettes de la Guyane française

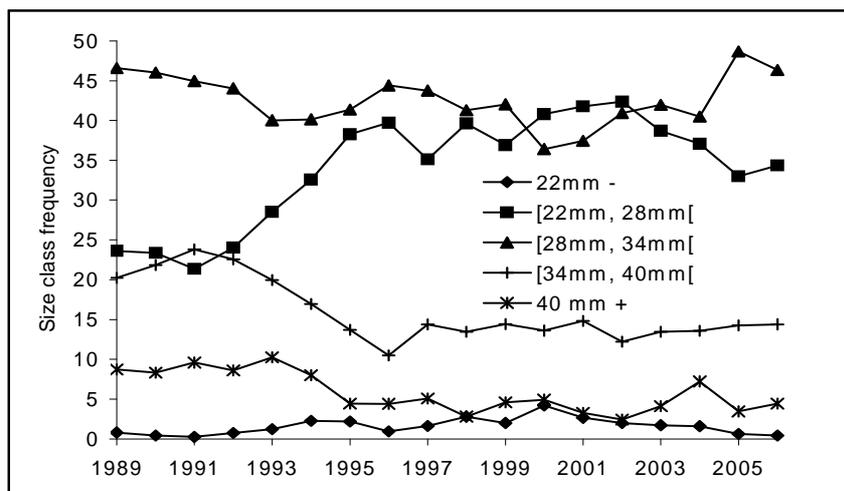


Figure 4. Débarquement de *F. subtilis* structuré par taille

1.3. Les facteurs clé des changements

D'un point de vue économique, le principal facteur est l'évolution du marché mondial de la crevette depuis le milieu des années 90. Après la francisation de la pêcherie, la plupart des captures a été exportée vers le marché intérieur français. Les crevettes guyanaises complétaient l'importation des pêcheries de Madagascar ou de l'Afrique de l'ouest. Après 1995, le marché mondial de la crevette tend à être dominé par la croissance de l'aquaculture. En 2006, l'aquaculture représente 80% des apports mondiaux en crevettes pénéidées. Ce changement a de dramatiques conséquences sur les pêcheries de crevettes tropicales qui faisaient déjà face à une stagnation des débarquements (due à la surexploitation de la plupart des stocks de crevette) et l'augmentation de coûts du gasoil. Le prix mondial unitaire de crevette, calculé à partir des données de la FAO sur les échanges commerciaux internationaux a diminué depuis 1995. Le prix courant en 2003 (6,5 US \$/ kg) est moins élevé que le prix observé en 1986 (7 US \$/ kg). Durant ces dernières années, l'augmentation des coûts du gasoil touche fortement les résultats économiques déjà en déclin.

Du point de vue de la ressource, on observe une tendance générale à la diminution de la biomasse au niveau régional depuis 1995-96 (Dintheer et Kalidjian, 2001). En Guyane, les analyses virtuelles de population (VPA), réalisées sur la période de 1994 à 2006 par des scientifiques de l'Ifremer, indiquent deux périodes de faible recrutement pour les principales espèces cibles (*F. subtilis*, brown shrimp) : 2000-2001 and 2006. Ces années montrent de mauvais résultats économiques et des difficultés sociales dans la pêcherie. Le mauvais recrutement de la crevette brune pourrait être lié à des conditions locales ou régionales défavorables comme des vents de nord-est et/ou le phénomène de la Niña (Vendeville et Blanchard, communication personnelle). Pour la seconde espèce *F. brasiliensis*, VPA indique également une réduction de la biomasse. Pour cette espèce, on pourrait aussi expliquer la réduction de la biomasse par une très forte (sur) exploitation dans les eaux voisines du Suriname. D'autres effets environnementaux pourraient être discutés. L'augmentation de la température de surface de la mer observée au travers des années passées (Blanchard et Thébaut, 2007) pourrait aussi avoir induit des changements dans les paramètres de croissance ou de mortalité (Fig. 5).

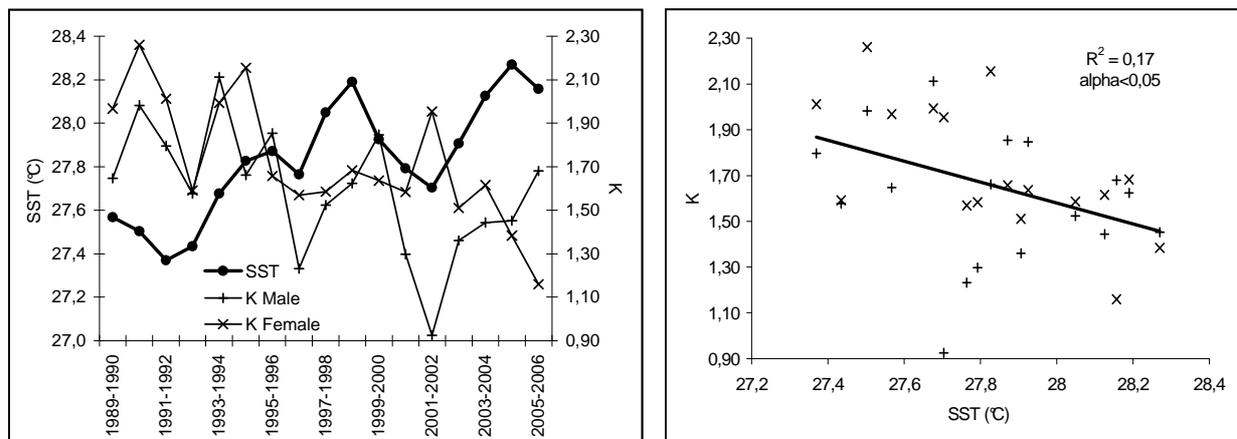


Figure 5. Variations temporelles de la température moyenne de la surface de la mer (SST) sur le plateau continental de la Guyane française (d'après série de données Reynolds) et le taux de croissance k calculé pour les mâles et femelles et la relation statistique entre k et SST (régression linéaire significative à 5%)

Le troisième facteur est lié au contexte institutionnel et à la gestion de la pêcherie.

Le premier point, déjà discuté auparavant, est la création de la ZEE en 1977. Ceci a permis le développement de la pêcherie « française », mais a aussi créé des conditions favorables à l'amélioration de la capacité de pêche, grâce à des soutiens au crédit et des investissements pour l'outre-mer. La flotte guyanaise a été basée sur des coûts d'investissement artificiels et réduits. Cela peut être considéré comme un élément stratégique positif pour aider une industrie émergente face à la compétition. Mais cet argument est très trompeur dans l'industrie de la pêche, car le bénéfice initial conduirait rapidement à une surcapacité économique de la pêcherie, compromettant la viabilité économique future de l'industrie.

Le second point est lié aux soutiens économiques accordés aux régions ultrapériphériques (Archipel des Açores, Antilles françaises, Réunion) par l'Union Européenne (UE), afin de compenser les coûts liés la distance entre ces régions et le marché européen.

Pour la pêcherie guyanaise, ce soutien (Poseidom) a été accordé en 1993. Une somme de 1,1 € a été donnée par kg de crevette rose ou brune exportée vers le marché européen², dans la limite de 4200 t par an. Depuis 2003, cette limite a été réduite à 3300t. Il paraît évident que Poseidom a contribué au maintien de la capacité et de l'effort de pêche à des niveaux élevés comparé à une situation sans subvention. Le Poseidom est alors remis en question comme incitation à une maximisation du volume des captures plutôt que de leur valeur. Une telle hypothèse pourrait être appuyée par les mêmes changements observés dans les stratégies de pêche : plus de pêche dans les eaux peu profondes pour les petites crevettes brunes abondantes ou moins de rejets des petits individus.

La gestion de la pêcherie est conforme à la législation européenne. Plusieurs règles et instruments de gestion ont été renforcés ou progressivement mis en application après la création de la ZEE. Mais leur efficacité est manifestement à remettre en question au vue de l'altération des résultats physiques et économiques.

- Le taux admissible de captures (TAC) de 4108 t de crevettes roses et brunes a été adopté en 1983, auquel 108t peuvent être pêchées par les pays voisins (Suriname, Trinidad, Barbade). Comparé à l'historique des captures, le TAC n'a jamais été pleinement atteint. Le Tac n'a pas été modifié jusqu'à aujourd'hui en dépit des tendances de diminution de biomasse et des débarquements. La moyenne des captures entre 2000 et 2006 était de 2930t. Ce TAC constant ne peut donc pas être considéré comme un outil de gestion actif, mais seulement comme preuve de la conformité de la Guyane aux règles européennes.
- En 1991, un système de licences est introduit pour la pêche des crevettes brunes et roses. L'objectif principal était au départ de limiter le nombre de bateaux afin de protéger la ressource de crevettes. Le préfet de la région de la Guyane (représentant de l'Etat français) est responsable du réajustement du nombre de licences et de leurs attributions entre les entreprises de pêche locales. Les licences sont attribuées sans cotisation. En fait, le système de licences ne semble pas être un outil de gestion de la ressource actif ou efficace.

L'abondance annuelle de crevettes est principalement corrélée au recrutement et non à l'effort de pêche ou au nombre de bateaux. Le nombre de licences, de 69 à 1991 a légèrement diminué de 68 (en 1994) à 63 (en 1999). Pendant cette période, le nombre

² La crevette « sea bob », très côtière, est exclue

de chalutiers crevettiers actifs était inférieur au nombre de licences (moins de la moitié en 2006...). Depuis 1991, la puissance du moteur des chalutiers est limitée à 500 CV (368 kW). Le système de licences aurait été un outil d'ajustement du nombre de bateaux pour améliorer les résultats économiques, mais son objectif n'était pas explicitement annoncé par le système de gestion.

- La taille minimale de la maille est de 45 mm. La réglementation de la taille des mailles est considérée comme une variable de contrôle importante dans les pêcheries de crevette, pour des résultats à la fois biologiques et économiques.
- Limitation spatiale : afin de limiter l'impact du chalutage sur les juvéniles de crevettes et d'éviter les conflits avec la pêche artisanale côtière, le chalutage est interdit dans les eaux de moins de 30 m de profondeur. Cette règle est plus restrictive que la limitation spatiale appliquée aux chalutiers dans les eaux européennes

Le système de gestion n'a manifestement pas anticipé ou pas réagi efficacement face aux changements écologiques, biologiques et économiques de la pêcherie crevettière. Les problèmes économiques et biologiques ont cependant été mentionnés dans de nombreux rapports scientifiques. Depuis les années 80, le suivi scientifique des captures et de l'effort de pêche est régulièrement mené par l'Ifremer. Ce suivi a été complété occasionnellement par des analyses économiques. Toutes ces analyses effectuées plus tôt mettaient en garde à propos des difficultés grandissantes de la pêcherie.

2. Modèle de simulation bioéconomique

Le modèle bioéconomique de la pêcherie de crevette de Guyane a été développé selon 3 principaux objectifs :

- Représenter les dynamiques antérieures de la pêcherie à travers la période de 1994-1996. Cette période a été choisie en raison de la disponibilité de données « solides » sur l'effort et les captures, collectées par les scientifiques de l'Ifremer en charge des aspects scientifiques de la pêcherie.
- Simuler l'impact des changements exogènes sur la pêcherie. Ces changements peuvent être économiques (principalement le prix mondial de la crevette et les coûts de gasoil) ou environnementaux. On utilisera l'hypothèse que les variations de recrutement de la crevette sont représentatives des variations de l'environnement.
- Tester l'impact des changements de gestion ou plus généralement des politiques publiques. Cela concerne les instruments des politiques déjà utilisés mais nous simulerons également l'impact de quelques décisions, comme l'adoption d'engins sélectifs pour limiter la pêche en capture et réduire la mortalité induite par la pêche crevettière sur des espèces en danger comme les tortues de mer.

2.1. Intérêt général de la modélisation bioéconomique de la pêcherie crevettière

La modélisation bioéconomique, non réduite à une représentation ultra simple, est souvent coûteuse en temps et en données. Pour créer un modèle bioéconomique robuste, nous avons besoin d'avoir une bonne estimation des aspects biologiques (croissance, mortalité naturelle et de pêche), économiques (prix, coûts) et institutionnels (règles de gestion et plus généralement les outils des politiques publiques ayant un impact sur le secteur de la pêche). Pour la plupart

des pêcheries, l'ensemble de ces données n'est pas disponible et la modélisation bioéconomique impose d'abord une nouvelle collecte de données et de nouvelles analyses. Dans le cas des pêcheries crevettières, beaucoup de modèles, en dépit de ces conditions, sont d'un grand intérêt, d'abord à cause de la haute valeur économique de la crevette : la rentabilité économique potentielle est très élevée. La plupart des pêcheries crevettières sont dans une situation dramatique de surcapacité, à cause de la haute valeur de la ressource mais aussi à cause de l'inexistence d'une réponse du stock face à aux variations de l'effort (contrairement à beaucoup d'autres cas où la diminution des captures associée à l'augmentation de l'effort de pêche sont considérées comme un indicateur de surexploitation impliquant des décisions de gestion). Le dernier argument favorable à une modélisation bioéconomique consiste en la réponse très rapide de la pêcherie aux décisions de gestion à cause d'un cycle de vie court de la ressource. Par exemple, la biomasse et l'ensemble des effets dus aux changements de taille de la maille seront observés dans l'année qui suit, alors que cela peut prendre des années pour les espèces de poisson à cycle de vie long. Pour ces raisons, des modèles bioéconomiques ont été proposés pour plusieurs pêcheries crevettières : Golfe du Mexique, Suriname, Baie de Carpentarie en Australie, Madagascar.

2.2. Courte présentation du modèle de pêcherie crevettière de Guyane

Ce modèle a été mis au point pendant 2 ans. Le logiciel Vensim® a été choisi comme outil de modélisation. Plusieurs analyses de données sur les captures et effort de pêche ont été menées pour alimenter le modèle en données et paramètres. Quelques études spécifiques ont été nécessaires pour obtenir les paramètres de coût et de prix pour l'année 2006.

Le modèle est composé de différents modules associés. Toutes les variables monétaires sont exprimées en termes constants (€ année 2006), utilisant l'index des prix guyanais comme déflation pour les années passées. Tout d'abord, le modèle prévoit de représenter les dynamiques des pêcheries pendant la période de 1994 à 2006. Des projections peuvent être faites pour une période de 10 ans suivant la période précédente, basées sur des hypothèses sur les paramètres biologiques et économiques. Le pas de temps du modèle est un jour.

Le module ressource a utilisé un modèle de structure en âge pour les deux espèces cibles (crevette brunes et roses), avec des cohortes mensuelles de mâles et de femelles³. Deux types de stratégie de pêche ont été distinguées : la pêche côtière (de 30 à 50 m de fond) et au large (plus de 50 m de fond). Les stratégies sont caractérisées par différentes capacités de captures des espèces cibles.

Un calcul des captures est fait pour chaque cohorte par espèce et par sexe, et le total des captures instantané est obtenu par une somme parmi les différentes cohortes.

2.2.1. Dynamiques de la biomasse, captures et revenus

Pour une cohorte donnée, le nombre d'individus, N_t est obtenu par l'équation 1,

$$N_t = N_{t-1} e^{-Zt} \quad N_0 = R \quad (1)$$

Où Z est la mortalité instantanée totale et R est le recrutement.

La mortalité totale Z est la somme de la mortalité naturelle M et de la mortalité par pêche F :

³ Le recrutement mensuel a lieu le 1^{er} de chaque mois.

$$Z_t = F_t + M \quad (2)$$

La mortalité par stratégie de pêche x est le produit de la capturabilité q_x par l'effort nominal E_x , nombre de bateaux à la mer pour chaque stratégie de pêche x .

$$F_t = \sum_x q_{xt} E_{xt} \quad (3)$$

Le coefficient de capturabilité est d'abord calculé à partir de la proportion SW de la surface de répartition des espèces balayée par une unité d'effort (bateau par jour). L'aire balayée par unité d'effort dépend de paramètres techniques : heures de chalutage par jour, largeur horizontale de l'engin de pêche et vitesse moyenne de chalutage.

Cette proportion est multipliée par la probabilité de capture d'une crevette pour une longueur donnée L_t entrant dans un chalut, obtenue par une fonction sélective S estimée par des techniciens de pêche. La variation de la répartition spatiale des crevettes, en relation avec l'âge, est représentée par une fonction d'accessibilité $Access_x(age)$ pour les deux stratégies de pêche et pour chaque espèce. Cette variation d'accessibilité est importante pour la principale espèce cible *F.subtilis* : on suppose que tous les individus d'âge inférieur à 500 jour sont uniquement vulnérables à la stratégie de pêche côtière et que tous les autres individus d'âge supérieur à 600 jours sont uniquement vulnérables à la stratégie de pêche au large. On considère que *F.brasiliensis* est uniquement vulnérable à la stratégie de pêche au large.

Pour la principale espèce *F.subtilis*, la comparaison des captures simulées avec les débarquements et la comparaison de la biomasse simulée avec la biomasse estimée par VPA ont été assez bonnes. Pour la seconde espèce, la même comparaison suggère une surestimation de q par le modèle. Différentes explications sont possibles : q est fonction de la biomasse, sous-estimation de la surface de distribution spatiale du stock, etc... Plusieurs analyses ont été faites pour améliorer ce point. On suppose aussi que le progrès technique doit augmenter la puissance de pêche à un taux constant g (pour les simulations exposées plus tard), $g = 3\%$ par an).

$$q_{xt} = SW \cdot S(L_t) Access_x(age) \cdot e^{gt} \quad (4)$$

La croissance individuelle W_t est modélisée avec la fonction de croissance de Von Bertalanfy.

$$W_t = A \cdot (L_\infty [1 - e^{-k(t - rt + ar)}])^B \quad (5)$$

A et B : paramètres de la relation taille-poids, L_∞ : asymptote de longueur, k : taux de croissance, rt : temps de recrutement de la cohorte, ar : âge de recrutement.

La valeur individuelle V_t est calculée en tenant compte de l'augmentation du prix quand W_t augmente. Les prix par catégorie commerciale sont sensés être déterminés par les conditions du marché mondial (les pêcheurs guyanais sont dit « preneurs de prix, c'est-à-dire que les variations de quantités apportées par les pêcheurs guyanais n'influent pas sur la valeur de la crevette sur le marché).

$$V_t = W_t \cdot P_t(W_t) \quad (6)$$

La biomasse est obtenue avec les équations (1) et (5)

$$B_t = N_t \cdot W_t \quad (7)$$

Les captures instantanées sont calculées en poids y_t ou en valeur yv_t :

$$y_t = (F_t/Z_t) \cdot N_{t-1} \cdot (1 - e^{-Z_t}) \cdot W_t \quad \text{-poids-} \quad (8)$$

$$yv_t = (F_t/Z_t) \cdot N_{t-1} \cdot (1 - e^{-Z_t}) \cdot V_t \quad \text{-valeur-} \quad (9)$$

Le cumul des captures (en poids et en valeur) par cohorte est intégré chaque fois aux équations (8) et (9). Le total des captures est obtenu avec la sommation de toutes les cohortes. Les captures, comme les autres résultats de simulation, sont aussi calculées par intervalles annuels.

2.2.2. Coûts

Les paramètres de coût de pêche par bateau sont partagés en coûts fixes et coûts variables et sont censés être les mêmes pour les deux stratégies de pêche. Les coûts sont calculés et cumulés au sein de chaque période de simulation annuelle y .

Les coûts fixes FC_y sont principalement composés de l'assurance, de l'amortissement du capital, des coûts privés de gestion financés par les armateurs et une part des coûts de maintenance. FC_y est proportionnelle au nombre de bateaux de la flotte au début de l'année.

Les coûts variables (cv_1 : gasoil, réparation, frais de port et de maintenance en mer), sont proportionnels au nombre de jours de mer E_t et/ou au poids débarqué (cv_2 : conditionnement, coûts d'exportation) ou à la valeur (cv_3 : coûts de main d'œuvre) des captures journalières. Le coût journalier du gasoil est le produit de la consommation journalière en gasoil et de son prix. Il peut alors être ajusté pendant une simulation.

Pour une période d'une année, le coût total TC_y pour tous les bateaux est égal à :

$$TC_y = FC_y + \int_{t=0}^{t_{max_year}} (cv_{1t}E_t + cv_{2t}y_t + cv_{3t}yv_t) dt \quad (10)$$

Ces calculs peuvent alors être effectués pour chaque stratégie de pêche.

2.2.3. Résultats économiques annuels

Il est très important de faire une nette distinction entre les résultats économiques privés (du point de vue des armateurs) et collectifs à cause des effets de redistribution des taxes et subventions.

Le profit privé brut de l'année y PP_y est égal au total des revenus YV_y plus la subvention européenne Poseidom (Sub) accordée aux entreprises d'armateurs, moins le coût total.

$$PP_y = YV_y + Sub_y - TC_y \quad (11)$$

Le profit privé net NPP est égal au profit brut PP moins les taxes sur le profit :

$$NPP_y = PP_y(1-pt) \quad \text{s.c } PP_y > 0 \quad (12)$$

pt: taux des taxes de profit

La rentabilité économique $RENT$, mesure de performance économique générée par la pêcherie, est égale à NNP_y plus les frais de pêche ff_y éventuellement payés par l'industrie pour avoir accès à la ressource et les taxes tax_y payées sur le profit, moins les subventions sub_y accordées aux armateurs. On considère ces taxes sur le profit obtenues par l'exploitation de la ressource comme une composante de la rentabilité économique.

$$RENT_y = NPP_y + ff_y + tax_y - sub_y \quad (13)$$

Les autres résultats économiques sont calculés mais non détaillés ici : la valeur nette ajoutée (valeur de la production moins les intrants matériels et l'amortissement du capital), les revenus d'Etat (Somme des taxes perçues sur les revenus de la pêcherie moins les subventions).

2.2.4. Entrées et sorties dans la pêche

Pendant la première période de simulation (jusqu'à 2006), l'activité de pêche (nombre de jour de pêche), pour chaque stratégie, doit être égale aux valeurs réelles observées précédemment. Pour la période de projection (après 2006), on utilise une fonction annuelle « entrée-sortie » pour la totalité de la flotte, fonction similaire à la formulation classique de Smith (1969).

La variation relative de la totalité de la flotte K entre l'année $y-1$ et l'année y , est proportionnelle au taux de profit Π_y multiplié par un taux de sensibilité s . s peut prendre différentes valeurs selon un taux de profit positif ou négatif.

$$\Pi_y = NNP_y / TC_y \quad (14)$$

$$\Delta K / K_{y-1} = \Pi_{y-1} \cdot s_1 \quad \Pi_{y-1} > 0 \quad (15)$$

$$\Delta K / K_{y-1} = \Pi_{y-1} \cdot s_2 \quad \Pi_{y-1} < 0$$

Pour les simulations suivantes, on utilisera la même valeur (1.5) pour les paramètres s_1 et s_2 .

Dans cette version du modèle, la distribution mensuelle de l'effort de pêche total entre les deux stratégies de pêche, pour les simulations de la période de projection, suit la moyenne observée entre 1994 et 2006, ou peut être modifiée pour voir les conséquences d'un changement de la répartition spatiale de l'effort.

3. Principaux résultats du modèle

La plupart des simulations en réponse à des perturbations externes, seront discutées sur les variations et le nouvel équilibre de la biomasse (capital naturel) et sur le nombre de bateaux (capital économique).

3.1. La qualité de l'ajustement

La qualité de l'ajustement du modèle est évaluée par la capacité du modèle à reproduire les dynamiques antérieures de la pêche pendant la période de 1994-2006. Au travers de cette période, le modèle donne d'assez bons résultats sur le total des captures en crevette (Fig.6) et sur la biomasse de crevettes (Fig.7). D'un point de vue économique, les deux principales crises (2000-2001) et 2006 sont aussi recréées par la simulation. Du fait du manque de données économiques pour cette période, nous ne sommes pas en mesure d'évaluer la qualité spécifique des rendements économiques issus des simulations.

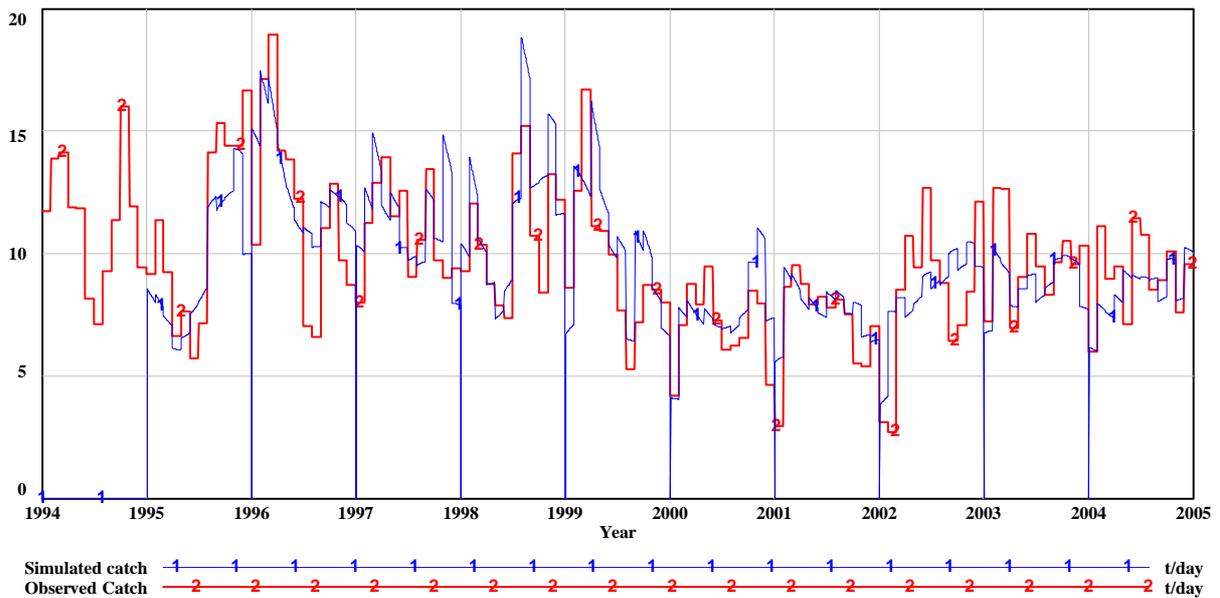


Figure 6. Qualité de l'ajustement du modèle pour le total des captures en crevettes

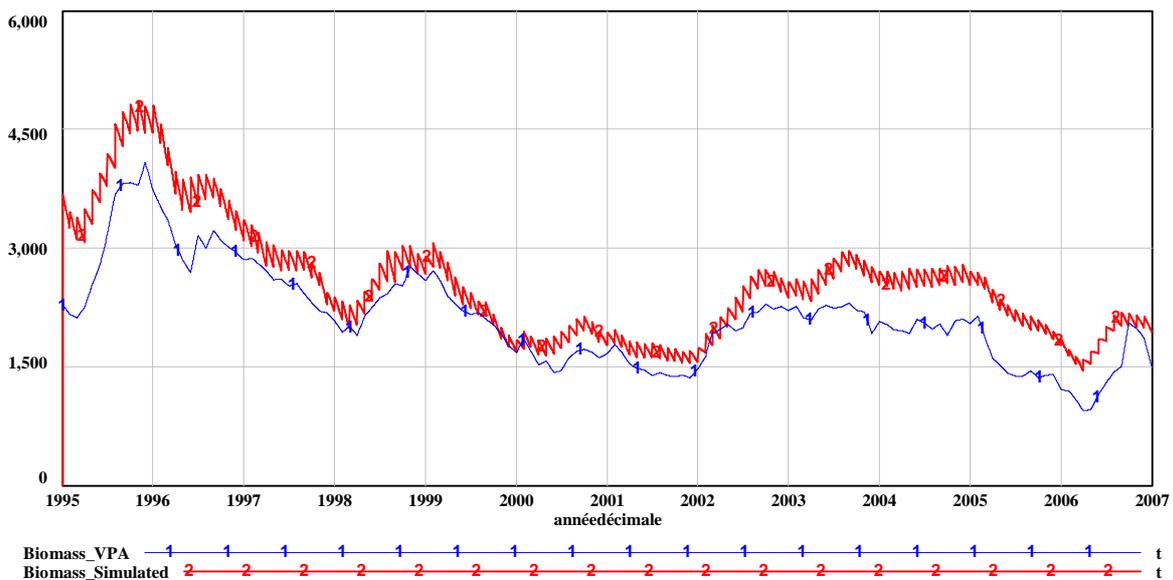


Figure 7. Qualité de l'ajustement du modèle pour la biomasse totale

3.2. Réponse de la pêcherie aux perturbations externes

Les résultats de simulations en réponse à des perturbations externes, seront discutées en termes de variations et de nouvel équilibre de la biomasse (capital naturel) et de nombre de bateaux (capital économique).

3.2.1. Perturbations environnementales ou changements de régime, impact sur le recrutement

Le recrutement des crevettes explique la plupart des variations des captures d'année en année. Aucun consensus ne semble apparaître dans la littérature pour identifier les facteurs clés qui générant les variations de recrutement. Par exemple, les facteurs climatiques, généralement supposés avoir un impact sur le recrutement de crevettes, comprennent les précipitations, le débit des rivières, la température de l'eau, le niveau de la mer, la salinité et la turbidité (Béné et Moguedet, 1998). Cependant, les biologistes considèrent que le recrutement est corrélé à une variabilité annuelle de l'environnement local (précipitations, vent) et/ou événements macro climatiques lié à l'ENSO⁴ mais on continue à tester ces hypothèses (Blanchard et Vendeville, communication personnelle). Les changements climatiques pourraient aussi affecter les conditions hydro climatiques nécessaires au succès du recrutement. Par exemple, de 1989 à 2006, deux différentes sous périodes peuvent être observées : de 1989 à 1999, avec un recrutement assez élevé et stable ; de 2000 à 2006, avec un recrutement plus instable (avec deux mauvaises années : 2000 et 2006⁵) et une tendance générale à la baisse.

Pour évaluer la réponse de la pêcherie à une variabilité du recrutement et à des perturbations, nous avons testé différents scénarios. Trois « régimes » de recrutement différents ont été comparés : le « régime » sur le long terme de 1989 à 2005, la dernière période de 2000 à 2005 (Fig 8.), les dernières et très mauvaises années de 2004 à 2007. Les projections ont été faites en utilisant les conditions économiques de l'année 2006 pour les coûts et les prix.

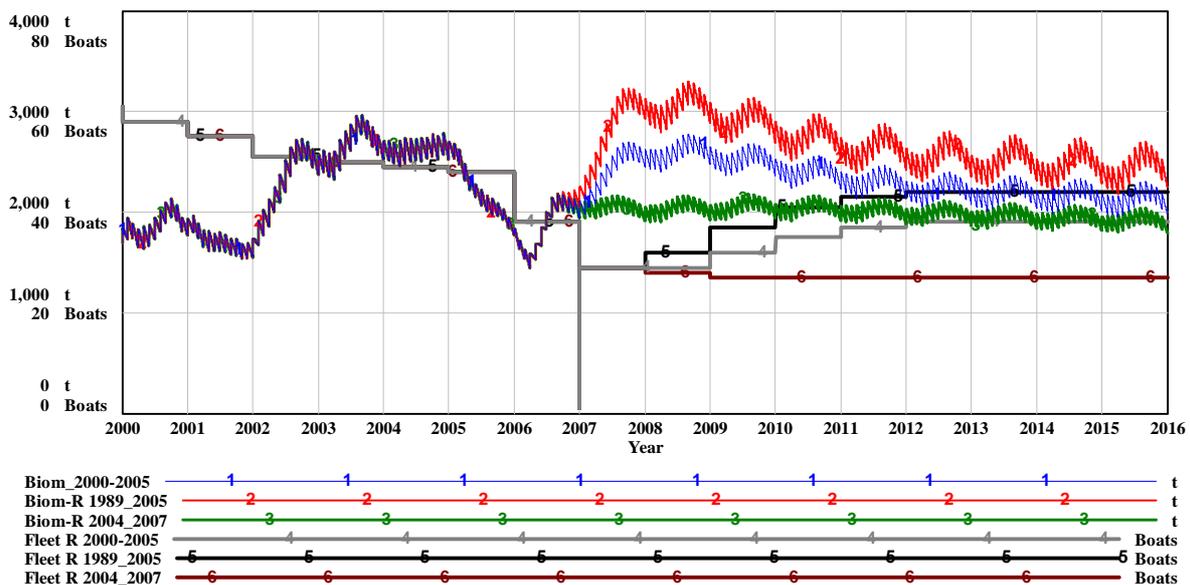


Figure 8. Evolution de la flotte et de la biomasse en réponse aux trois différents régimes environnementaux de recrutement

Pour les trois régimes environnementaux, les comportements d'entrée/sortie de flotte donnent 3 niveaux stables (44 bateaux, 38 et 27). Ces niveaux ne peuvent pas être considérés comme des

⁴ El Niño Southern Oscillation

⁵ L'année 2007 a été pire mais n'a pas été prise en compte dans la calibration du modèle.

équilibres sur le long terme à cause de l'augmentation de la puissance de pêche qui amène à quelques ajustements.

Pour simuler l'impact de chocs ponctuels du recrutement : nous avons multiplié la moyenne mensuelle des recrutements observés de 2000 à 2005 par 1.3 et nous l'avons appliqué à l'année 2009 ; les valeurs originales de référence entre 2000-2005 ont été appliquées pour d'autres années dans la période de 2007-2011.

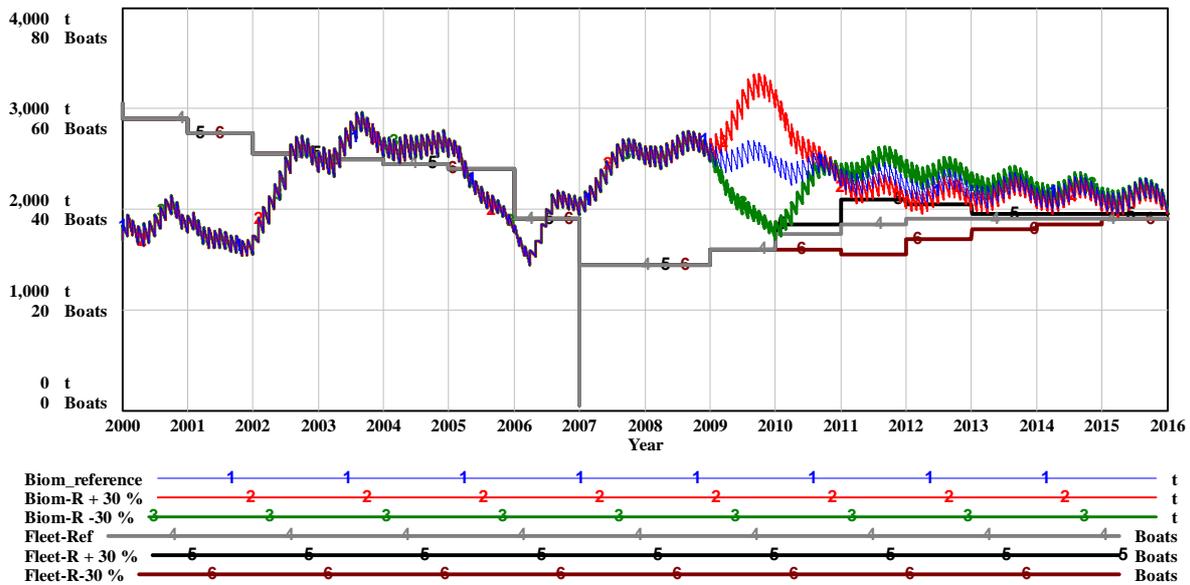


Figure 9. Réponses de la biomasse et de la flotte à des chocs ponctuels de recrutement de crevettes

Les effets de chocs ponctuels du recrutement sont facilement et rapidement absorbés et le stock (capital naturel) revient au niveau normal (Fig.9) ; il en est de même le nombre de navire (capital économique) qui revient à un niveau initial mais prend plus de temps.

3.2.2. Réponses aux changements économiques

Les principales origines de changement économiques sont les marchés mondiaux de l'énergie et de la crevette, qui ont connu une rapide évolution ces dernières années. Une autre origine possible de changements économiques pourrait être l'ajustement de la subvention Poseidom. Pour quelques paramètres, nous avons utilisé une deuxième valeur moins « pessimiste ». Deux types de scénarios pour les changements économiques ont été testés :

i) Diminution de la subvention Poseidom selon les catégories commerciales

Pour les prix des crevettes, les conséquences des changements suivant ont été simulées :

- Diminution de 4% (3%) par an pour les crevettes de petite taille (catégorie 40/60 à 120⁶) ;
- Faible diminution de 1% (0%) par an pour les crevettes de taille moyenne ;

⁶ Pour les crevettes, les catégories standard commerciales sont définies par le nombre d'individu par kg

- Augmentation de 2% par an pour les crevettes de grande taille

Pour ces changements, nous avons fait la supposition d'une augmentation des apports de l'aquaculture, diminuant ainsi le prix des crevettes de petite taille. Pour les crevettes de moyenne et grande taille, nous avons supposé que la différenciation de production pour les « crevettes sauvages » favoriserait une augmentation des prix.

ii) Diminution de la subvention

- Diminution de la subvention de Poseidom de 50%(25%) par tonne

Une réduction de la subvention paraît réaliste à cause des orientations internationales de l'OMC en vue de supprimer des distorsions des échanges et également à cause de la politique commune des pêches ayant pour objectif de réduire l'aide publique économique des industries de la pêche.

Pour le prix du gasoil, nous avons utilisé un taux d'augmentation de 15%(10%) par an. Ceci pourrait être une hypothèse assez optimiste en comparaison avec la situation courante du marché mondial du pétrole. Une tendance basée sur les variations des années 2007 et 2008 mènerait rapidement à des résultats de court terme non viables.

Les 2 scénarios économiques ont été appliqués avec le recrutement mensuel moyen de la période de 2000 à 2005. Les résultats sont présentés figure 10 (le changement 1 fait référence à la première série d'hypothèses, le changement 2 se réfère à la seconde moins pessimiste)

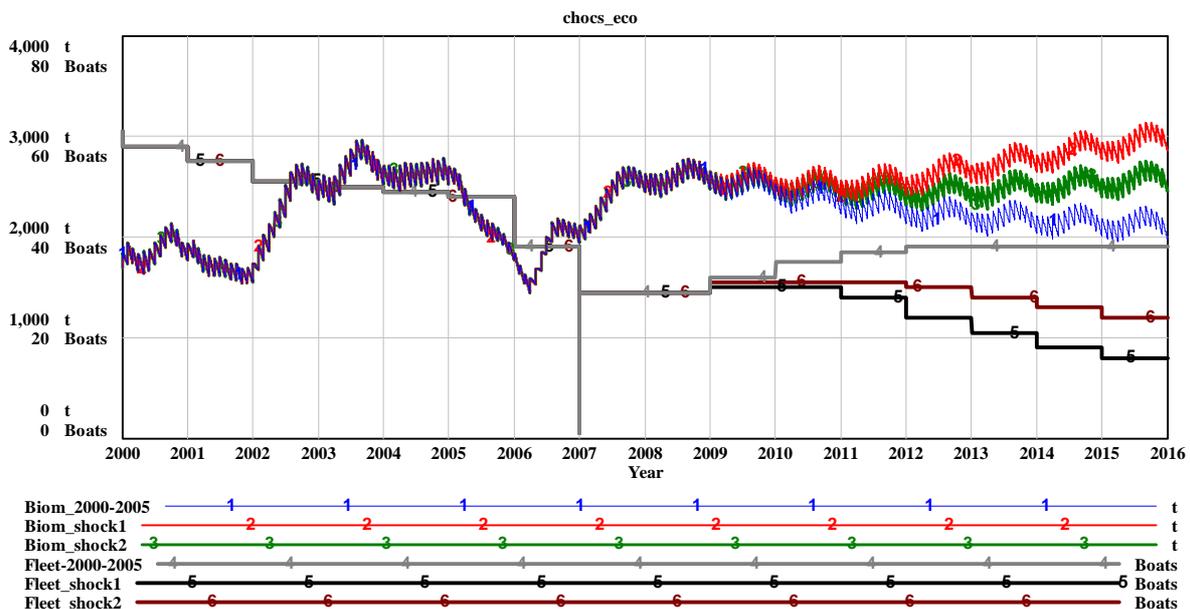


Figure 10. Impacts des changements économiques sur la flotte et la biomasse

Les deux scénarios mènent à de dramatiques diminutions du nombre de bateaux (-34% ou -52%) comparé au scénario de référence, ceci à cause de la dégradation des résultats économiques. La réduction de l'effort de pêche a un impact positif direct sur les niveaux de biomasse.

3.2.3 Cumul des différents type de changements externes

La pêche a connu simultanément des changements écologiques et économiques. Dans les simulations suivantes nous utilisons les derniers scénarios économiques complétés par un scénario de recrutement de crevettes basé sur les données de la période 2004-2007. Ici, nous n'utilisons pas les données de 2000 à 2005 car elles ont déjà été utilisées dans la simulation précédente.

La prise en compte simultanée des deux types de changement mènera bien à une réduction de la flotte de 18 à 10 bateaux en 2016 (Fig.11). Le comportement d'auto-régulation permet un renouvellement très important de la ressource, en dépit d'un « régime » de mauvais recrutement utilisé dans cette simulation.

Ce résultat souligne la potentialité, pour la pêche, de devenir économiquement non viable, si les tendances actuelles des prix de la crevette et du gasoil ne se stabilisent pas ou ne s'inversent pas.

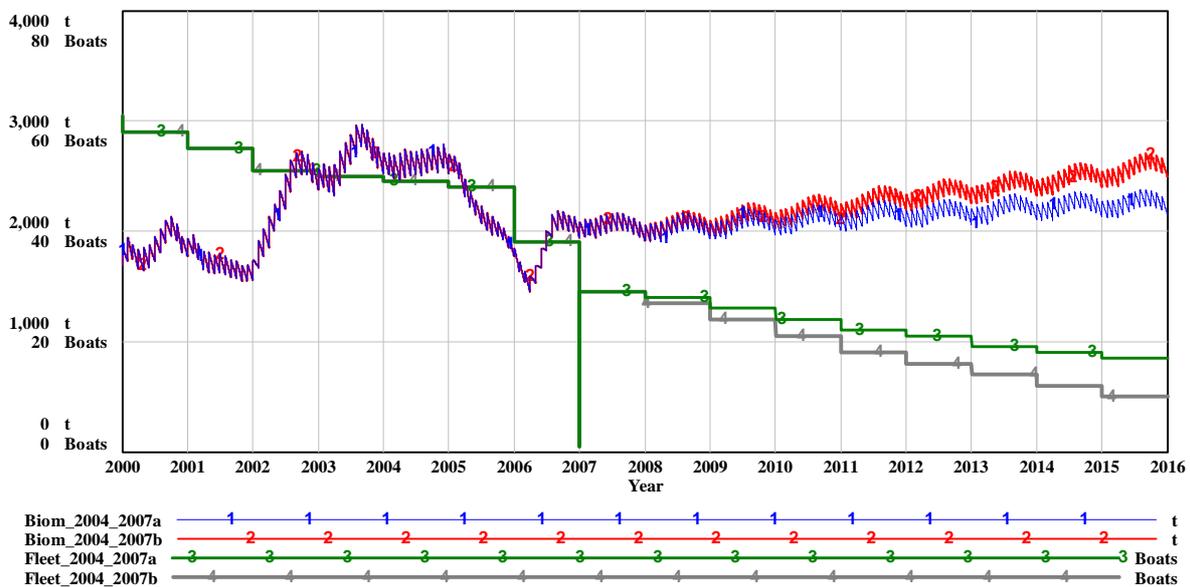


Figure 11. Impacts des changements économiques et environnementaux sur la flotte et sur la biomasse

Après l'analyse de l'éventuel impact des changements externes sur la pêche, nous devons discuter des changements éventuels dans la gestion de la pêche qui pourraient améliorer la capacité d'adaptation du secteur.

3.3. Réponses aux changements des politiques publiques

3.3.1. Capacité limitante et effort de pêche

Les simulations précédentes ont clairement montré que la pêche crevette guyanais ne pourrait pas survivre aux tendances actuelles des prix de vente et des coûts de gasoil et aux diminutions de recrutement liée aux changements environnementaux.

La limitation de la surcapacité de la pêcherie crevettière est la 1^{ère} politique publique à simuler. La limitation du nombre de bateaux a des effets très importants sur les coûts de pêche, en favorisant la restauration des profits et de la rentabilité. Les simulations suivantes sont basées sur la période de recrutement de 2000 à 2005 et sur l'année 2006 pour les prix et les coûts. Pour chaque simulation, on a multiplié l'effort de référence (51 bateaux, moyenne de la flotte dans cette période) par un coefficient (multiplicateur de la flotte) variant de 0,1 à 1.

Boats	Fleet Multiplier	Revenue	Net Private Profit	Rent	Net Added Value
51	1,0	20 222	-3 700	-6 797	-2 841
46	0,9	19 744	-2 104	-5 068	-1 206
41	0,8	19 097	-641	-3 452	284
36	0,7	18 240	458	-1 976	1 592
31	0,6	17 121	1 219	-675	2 673
26	0,5	15 677	1 800	405	3 471
20	0,4	13 829	2 156	1 210	3 915
15	0,3	11 478	2 233	1 671	3 916
10	0,2	8 500	1 960	1 701	3 363
5	0,1	4 739	1 253	1 190	2 116

Unités : 1000€

Figure 12 : Impact du contrôle de la capacité de la flotte

Les résultats montrent clairement la surcapacité économique de la pêcherie dans la situation de référence. Le niveau optimal pour le profit net privé est obtenu avec 20 bateaux. L'optimum pour la rentabilité économique est obtenu avec 10 bateaux. La différence entre les valeurs des deux optimums s'explique par les subventions Poseidom et par les taxes sur le profit. L'estimation de l'optimum avec une augmentation du prix du gasoil et une baisse des prix des crevettes mèneraient bien à un nombre optimal de bateaux très faible.

3.3.2. Saisons fermées

Les fermetures saisonnières sont souvent utilisées dans les pêcheries crevettières (ou pour d'autres espèces à cycle de vie court comme *Octopus spp.*) pour augmenter les tailles et aussi pour augmenter la valeur marchande des crevettes. Cela permet aussi des réductions de coûts variables, proportionnels à au nombre jour de mer.

L'analyse des données de recrutement pour l'espèce principale *F.subtilis*, de 1989 à 2006, montre de fortes variations avec un nombre de recrutés élevé d'avril à juin. Nous avons simulé une fermeture saisonnière pour ces mois, à partir de 2007, comparé à une simulation de référence basée sur le recrutement de 1989 à 2006 et les prix et coûts de 2006.

Les fermetures saisonnières améliorent les résultats économiques mais du fait d'augmentations induites de la capacité de la flotte, ces améliorations sont un peu dissipées à la fin de la simulation.

D'autres conséquences importantes consistent en des changements de la composition en taille ou catégorie commerciales (Fig.14) et en une amélioration du prix moyen des débarquements. Par exemple, à la fin de 2009, le prix moyen avec la fermeture est de 7.6 €/kg alors qu'il est de 7.16 €/kg sans la fermeture. Grâce à la réduction des coûts variables (23 millions € vs. 26 millions €), on assiste à des améliorations significatives pour les profits net privés (3.2 vs. 2.4 millions €) et pour la rentabilité (1.2 vs. -0.14 millions €).

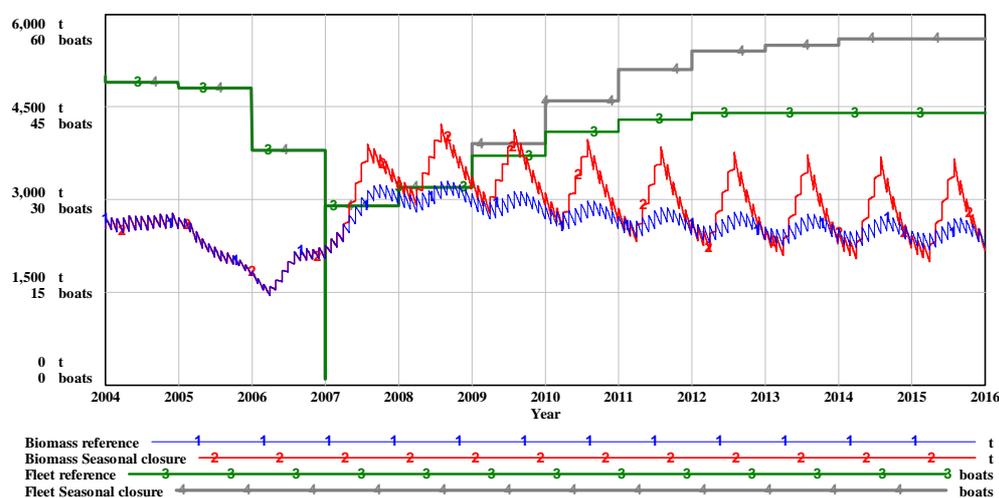


Figure 13. Impact des fermetures saisonnières sur la biomasse et sur la flotte

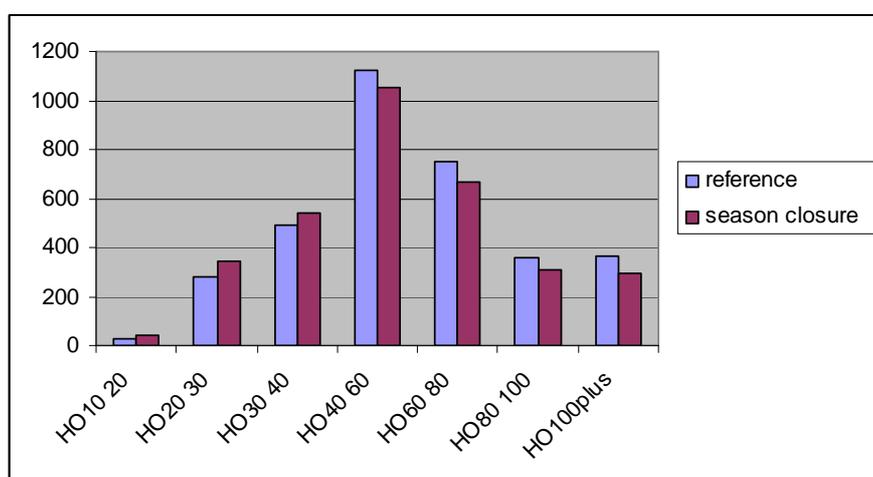


Figure 14. Impact des fermetures saisonnières sur la structure des captures (dernière année de simulation)

3.3.3. Suspension des subventions européennes, relation avec la distribution spatiale de l'effort de pêche

D'abord, nous avons simulé l'impact d'un arrêt total des subventions. La situation de référence utilise les données de recrutement de 2000 à 2005 (Fig.15). Par exemple, en 2011, la suspension des subventions mène à une réduction de la flotte (29 vs. 35 bateaux) et des captures (2577t vs. 2846t). D'un point de vue économique, on obtient une amélioration de la rentabilité (1,1 vs. -0,3 millions €) et une diminution du profit privé net (0,8 vs. 1,9 millions €). L'amélioration de la rentabilité économique s'explique par une diminution des coûts (18,3 vs. 21,7 millions €) due à la réduction de la flotte.

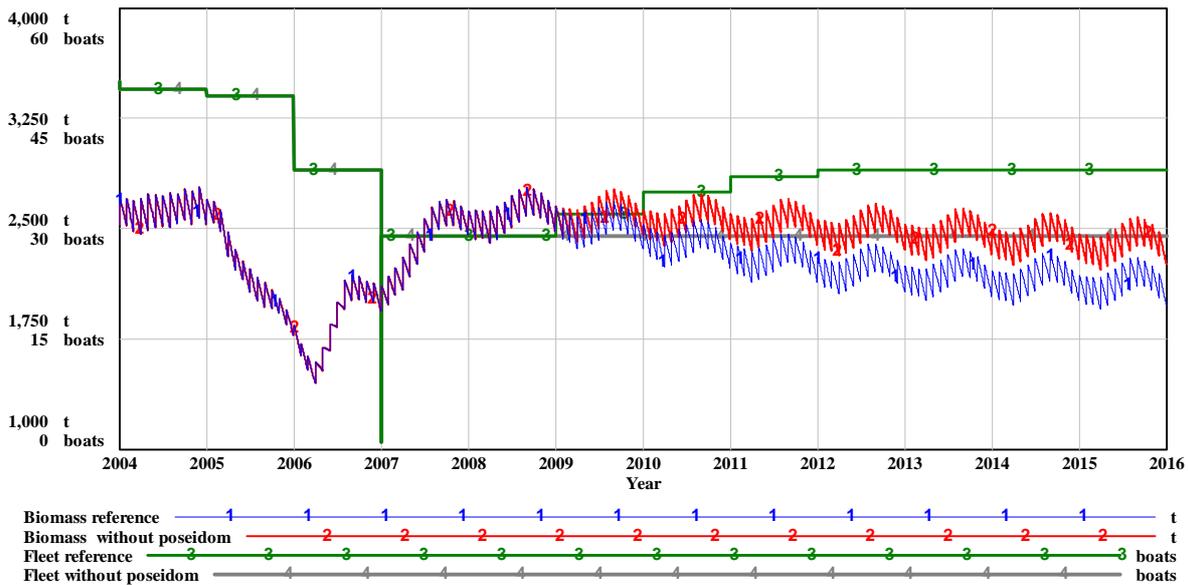


Figure 15. Impact de l'arrêt total de la subvention Poseidom

La question souvent posée est le rôle incitatif de la subvention Poseidom pour la stratégie de pêche côtière. Nous avons complété différentes simulations avec une proportion de stratégie de pêche côtière dans l'effort total variant entre 0 et 1 de l'année 2006 à 2013. Le nombre total de bateaux est resté constant (30 bateaux) dans toutes les simulations. Les résultats sur la figure 16 montrent clairement que l'optimum de rentabilité et du profit privé net sont obtenus selon des proportions de stratégie côtière différentes : respectivement 0,7 et 0,5. Ceci peut être comparé à la proportion réelle observée entre 1994 et 2006 : 0,79. La valeur de la proportion observée est très proche de la valeur optimale du profit privé net obtenu par simulation. La subvention Poseidom, qui explique la plupart des différences entre la rentabilité et le profit privé net, a clairement mené les unités de pêche à concentrer leur effort de pêche entre 30 et 50 m de fond.

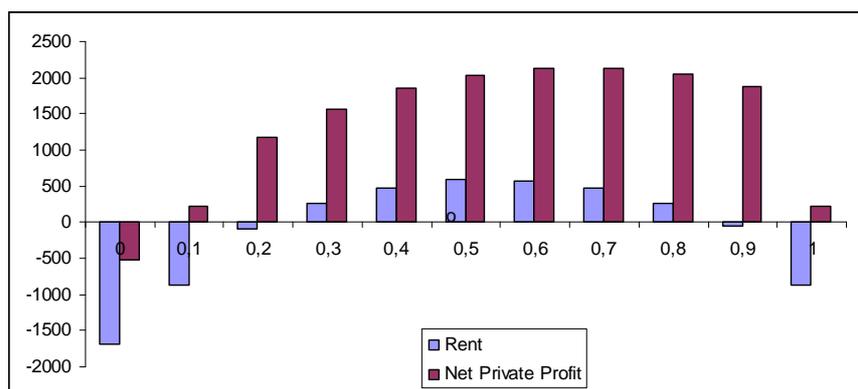


Figure 16. Impact de la proportion de stratégie côtière sur la rentabilité et le profit privé net

3.3.4. Promouvoir une pêche sélective : conséquence économiques

Les pêcheries tropicales crevettières ont un impact important sur la biodiversité marine avec les captures accessoires (rejets) et les captures accidentelles de tortues (Environmental Justice Foundation, 2003). Ceci entraîne directement des coûts environnementaux, difficiles à estimer

mais sûrement élevés en termes de résilience et de fonctionnement de l'écosystème mais aussi en termes de valeur d'existence pour les espèces emblématiques ou menacées. Une autre question soulevée est le coût de « non-accès » aux marchés fermés aux produits qui ne sont pas conformes aux normes de conservation pour les espèces menacées. Par exemple les importations de crevettes, venant des pays où le dispositif technologique TED (dispositif d'exclusion des tortues) n'est pas obligatoire et imposé par la loi, ne sont pas autorisées sur le marché américain. L'éco labellisation, moyen de différencier des produits sur des marchés compétitifs, ne peut être obtenue sans l'adoption d'engins technologiques limitant les captures accessoires.

En Guyane, des expériences sur les TED et des dispositifs de réduction des captures accessoires (BRD) ont été réalisées. Une perte de 10% sur la capturabilité des crevettes a été estimée pour les deux dispositifs TED et BRD. Nous avons fait la supposition d'une perte simultanée de 19% pour les deux dispositifs combinés. Nous n'avons pas présumé de changements dans les coûts ou les prix. Les données de recrutement de 2000 à 2005 et les paramètres économiques de l'année 2006 ont été utilisés pour la projection.

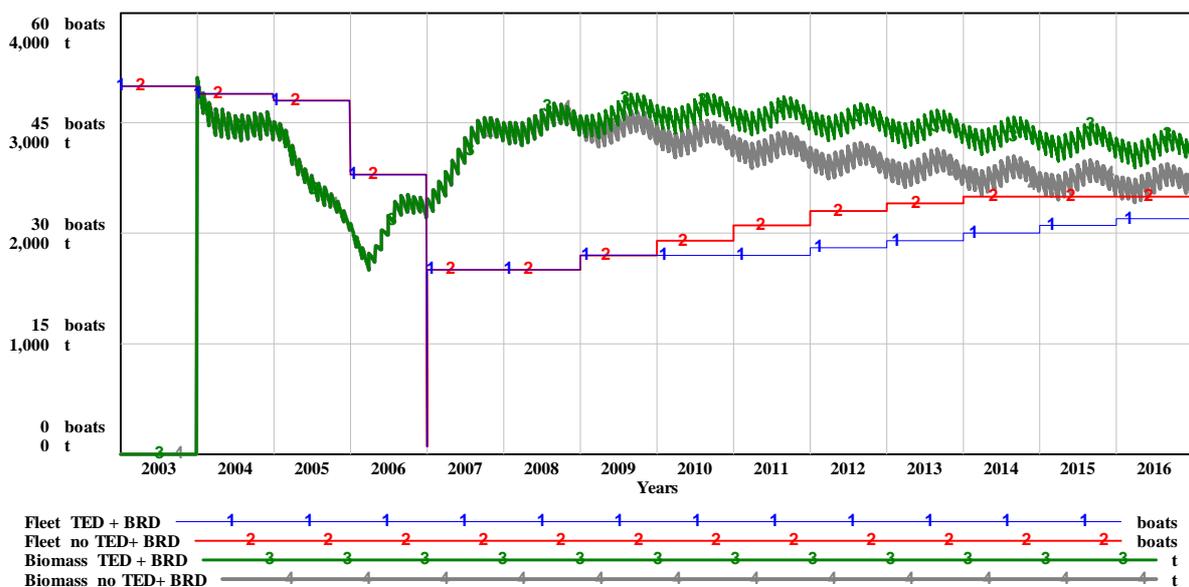


Figure 17. Impact de l'adoption des dispositifs TED et BRD

Sur la figure précédente, on voit que les réponses de la biomasse et de la flotte aux dispositifs TED et BRD pour l'année 2009. La diminution de la mortalité par pêche due à la perte de capturabilité a un effet positif sur la biomasse. En 2016, la flotte a perdu 3 bateaux (32 vs. 35). Ceci est dû aux pertes économiques temporaires après l'adoption de nouvelles technologies de pêche. Quatre ans après cette adoption les résultats économiques sont presque les mêmes, ceci étant dû à une réduction des coûts et de la flotte, mais aussi à l'amélioration dans la structure en taille des captures, permettant un prix moyen plus élevé (7,7 vs. 7,3€/kg en 2016).

L'adoption des dispositifs TED et BRD semble économiquement acceptable, si un ajustement du nombre de bateaux permet de compenser la diminution des captures et des revenus.

Conclusion

Durant ces dix dernières années, on peut caractériser la pêcherie crevette guyanaise par des faibles résultats économiques à la suite d'une période d'expansion. Ceci est dû en partie aux conditions externes sur le marché de la crevette, dominé aujourd'hui par les coûts de production faibles de l'aquaculture tropicale. L'addition à cela des changements écologiques semble expliquer l'instabilité grandissante et la tendance négative du recrutement et pourrait également contribuer aux difficultés du secteur.

La gestion du système n'a été que faiblement réactive pour adapter la pêcherie aux nouvelles conditions économiques et écologiques. Les subventions européennes maintiennent les résultats économiques privés mais en l'absence d'une gestion réactive, elles maintiennent également la capacité de pêche à un niveau trop élevé. Une des principales conséquences est la succession de crises économiques et sociales dans la pêcherie.

Les résultats de la simulation bioéconomique montrent que l'on peut obtenir des améliorations avec une gestion plus réactive de la pêcherie. La plupart des scénarios montre que de fortes adaptations seront nécessaires si les tendances actuelles de coût du gasoil et du prix de la crevette se maintiennent à l'avenir. Une réduction de la capacité de la flotte et des fermetures saisonnières pourrait aider à rétablir une efficacité économique. Le système de subventions n'a pas été très efficace sur le long terme pour le maintien des revenus. À l'inverse, il a encouragé des stratégies de pêche côtière, maximisant le poids des captures plutôt que leur valeur. D'après les résultats de la simulation, il semble que le système de subvention devrait être réexaminé.

Dans un contexte de compétition internationale sur les marchés de crevettes, l'éco-labellisation semble être un moyen de différencier les crevettes « sauvages » de Guyane des produits concurrents, particulièrement des crevettes issues de l'aquaculture à bas coûts qui produisent des dommages écologiques importants. L'adoption de dispositifs TED et BRD est économiquement acceptable mais nécessite d'autres mesures de gestion comme la réduction de la capacité de pêche.

Bibliographie

- Béné C. Moguedet Ph., 1996. *Analyse dynamique de la crise dans la filière de production crevette guyanaise*. Ifremer, Ministère des départements et territoire d'Outre Mer, 66 page
- Béné C. , 1997. *Dynamique et adaptation d'un système pêche face aux perturbations de son environnement. Analyses et modélisations dynamiques du couplage écologie-économie. La cas de la crevette guyanaise*. Thèse de doctorat en sciences de la Vie et Santé. Université Paris VI Pierre et Marie Curie.
- Blanchard F., Thébaud, O., 2007. Changement global, dynamique de la biodiversité marine exploitée et viabilité des pêcheries. Dans Actes des 5^e journées de l'IFB, 3-6 décembre 2007, Tours : 20-24.
- Chaboud C. sous presse, Modélisation bioéconomique de la pêcherie crevette malgache. In Caverière A. C. Chaboud et T. Rafalimanan (eds), *Les crevettes côtières de Madagascar. Biologie exploitation, aménagement*, Editions de l'IRD. Paris.

- Chaboud C., 2007, L'exploitation durable des ressources marines et côtières. In Chaboud .
Méral Ph. et G. Frogers eds, *Madagascar face aux enjeux du développement durable. Des politiques environnementales à l'action collective locale*, Karthala, Paris : 230-257.
- Clark C. W., 2006.-*The worldwide crisis in fisheries. Economic models and human behaviour*.
Cambridge University Press, 263 pages.
- Cury Ph, Miserey Y., 2008. *Une mer sans poissons*. Calman Levy, Paris, 279 pages.
- Dintheer C., Le Gall J.-Y., 1986. *Analyse et modélisation des composantes biologiques de la pêche crevettière Française*, Ifremer.
- Dintheer C. Kalaidjian R., 2002. *Expertise sur la situation de la pêche crevettière guyanaise 2000-2001*, Ifremer, 86 pages.
- Environmental Justice Foundation, 2003. *Squandering the seas. How shrimp trawling is threatening ecological integrity and food security around the world*. London, Environmental Justice Foundation.
- Garcia S. Le Reste L. 1981.- Cycles vitaux, dynamique, exploitation et aménagement des stocks de crevettes péneïdes côtières. FAO, *Document Technique Sur Les Pêches* (203), Rome, 210 pages.
- Gilly B., Cochet, 1988. *Analyse économique de la pêche de Guyane Française*. Ifremer, DRV 88.023, Paris, 45 pages.
- Ifremer, 2004, *Amélioration des sélectivités inter et intraspécifiques des pêcheries crevettières de Guyane. Phase 2, détermination de l'influence des maillages et dispositifs de protection réglementaires des poches sur la sélectivité des chaluts. Mesure de la consommation d'énergie des chaluts*. Rapport TMSI/TP 04-04.
- Smith V.L., 1969.-On models on commercial fishing. *Journal of Political Economy* (77) : 181-198.
- Vendeville P., 2005.-Les ressources halieutiques et les pêcheries de Guyane. Diagnostic et expertise : 4 ème conférence maritime de Guyane. Cayenne le 24 juin 2005.
-