

50376
1994
115

50376
1994

n° d'ordre : 1210 115

THESE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES et TECHNOLOGIES DE LILLE

pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE

par

Jean-Bernard PERODOU

DYNAMIQUE DE LA POPULATION EXPLOITEE
DE VIVANEAU ROUGE (LUTJANUS PURPUREUS)
DE GUYANE. COMPLEMENTARITE DES
ANALYSES GLOBALE ET STRUCTURALE



Soutenu le 09/04/94 devant la commission d'examen :

Président : S. FRONTIER

Rapporteurs : A. LAUREC
J.C. LE GUEN

Examineurs : J.L. DURAND
J. BERTRAND

SCD LILLE 1



D 030 259472 9

RESUME

La dynamique de la population de vivaneau rouge de Guyane, exploitée par une flottille de ligneurs vénézuéliens, est étudiée en utilisant à la fois l'approche globale puis l'approche analytique. Enfin la complémentarité des deux analyses est examinée via l'estimation du coefficient de capturabilité.

Le traitement des PUE par un modèle multiplicatif à trois facteurs apporte en sortie trois types de données élaborées : les puissances de pêche des navires, les abondances des strates spatio-saisonnnières, et les abondances annuelles. Les navires forment un ensemble relativement homogène vis-à-vis de leur pouvoir de capture. Une augmentation d'abondance en fonction de la profondeur est observée dans les strates spatio-saisonnnières. L'indice annuel d'abondance subit une baisse au cours des cinq années d'observations (1987-1991) dont la cause principale est attribuée à l'augmentation corrélative de l'effort de pêche. Dans l'analyse structurale, la dynamique du stock est étudiée à partir d'une composition en taille des captures. Les taux de mortalité par pêche et les effectifs de survivants sont estimés à l'aide de la technique de l'Analyse de Population Virtuelle sur les tailles. La fonction de rendement par recrue indique que toute augmentation du taux d'exploitation actuel provoquerait à l'équilibre une baisse de rendement par recrue.

Le coefficient de capturabilité varie en fonction du bateau, de la strate spatio-saisonnnière et de la classe de taille du poisson. Pour s'affranchir de cette variabilité, les prévisions de capture sont faites dans des conditions standards, en faisant varier l'effort de pêche standard. Sur un plan pratique, un diagnostic de l'état d'exploitation est présenté : la ressource apparaît comme stable, surexploitée et en phase transitoire. Si l'effort de pêche se maintenait au niveau actuel, il faudrait prévoir dans les années à venir une baisse importante de la production.

Mots-clés : Dynamique des populations - Guyane française - vivaneau rouge - Lutjanus purpureus

ABSTRACT

Southern red snapper 's population dynamic in French Guiana, exploited by a fleet of venezuelan handliners, is analysed with the help of global and analytical models. Then the complementary point of view of both analysis is examined with the measure of capturability coefficient.

The processing of CPUE by a three factors multiplicative model supplies three characteristics of elabore data : fishing power by boat, abundance index by spatial and seasonal stratum, and abundance index by year. Fishing power between handliners are relatively homogeneous. Abundance index of spatial and seasonal stratum increases with depth. Annual abundance index decreases from 1987 to 1991, of which the prime cause is attributed to the growth of fishing effort during the same period.

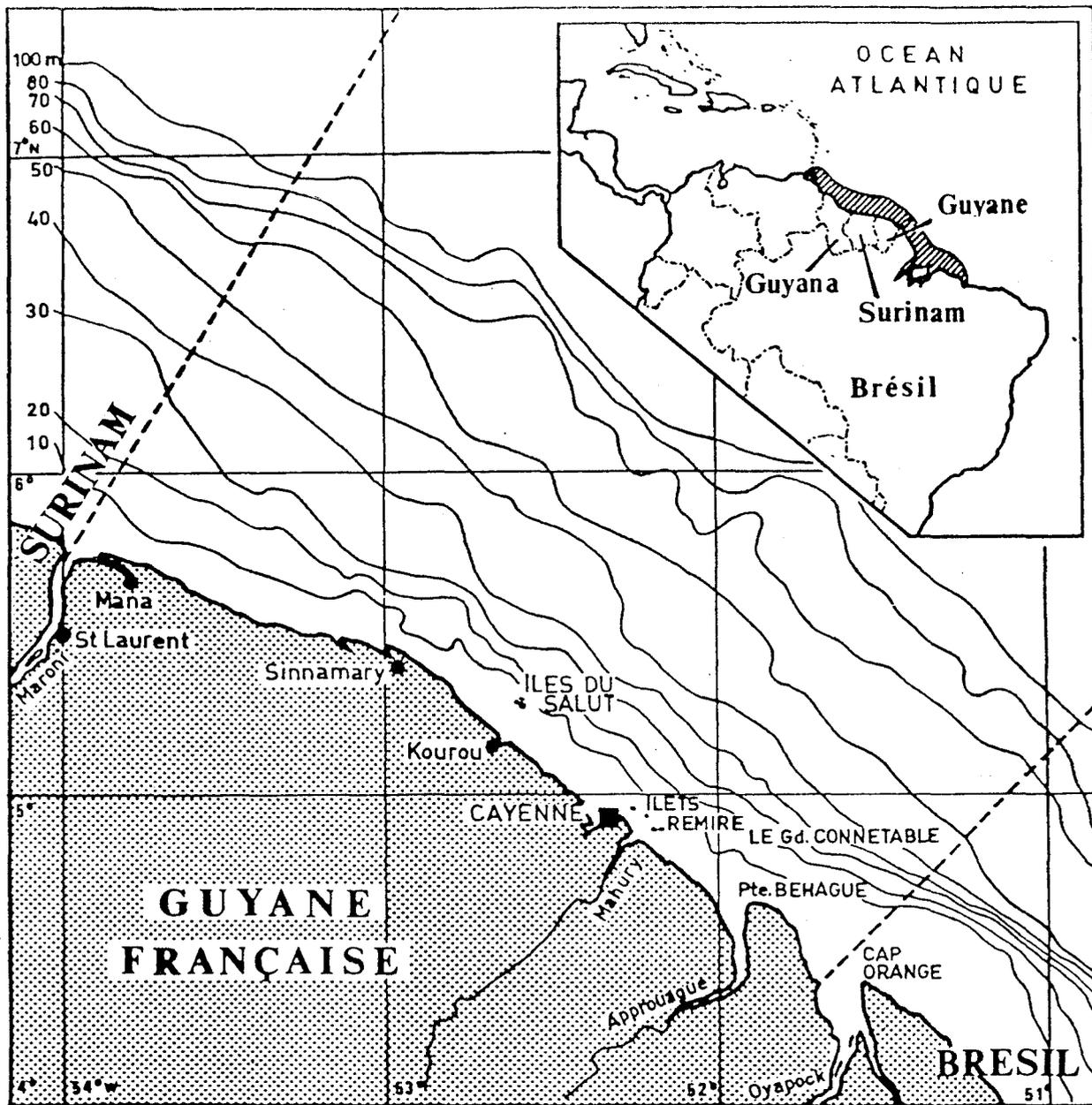
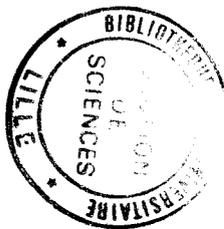
The stock assessment is analysed from length distribution of catches. Fishing mortality rates are estimated with a length-cohort analysis. The yield per recruit function indicates that an increase of fishing mortality rates would lead to a decrease of yield. Capturability coefficient varies with the ships, the seasonal and spatial strata, and fishes ' lengthes. This is the reason why catches ' estimates are made in standard conditions.

Finally a diagnostic of the exploitation 's level is presented. The resource is stable, overfished and in transitional phase. If the standard fishing effort would stay at a present level, it would have to an important decrease of catches in the near future.

Key-words : Population dynamics - French Guiana - southern red snapper - Lutjanus purpureus

50376
1994
1.15

CCO 20100390



Localisation géographique de la pêche étudiée : Guyane française dans le plateau guyano-brésilien

Les théories sont des filets : seul celui qui lance, pêchera.

NOVALIS.

dans K.R. POPPER, " La logique de la découverte scientifique ".

Remerciements

C'est un plaisir de remercier ici les personnes et les institutions qui ont rendu cette étude possible :

j'exprime ma reconnaissance à Monsieur Serge Frontier, Professeur d'écologie à l'Université de Lille, qui m'a accueilli dans son laboratoire et a orienté mes travaux. J'ai pu bénéficier, en plus de ses encouragements amicaux, de ses nombreux commentaires et de ses larges connaissances en écologie théorique. Je le remercie d'avoir bien voulu présider le jury de cette thèse.

Ma reconnaissance s'adresse également à Monsieur Alain Laurec, Directeur Général des Pêches (D.G. XIV) à la Commission des Communautés Européennes, qui m'a fait aimer les mathématiques, m'a initié, avec d'autres, aux méthodes de la Théorie des Populations, et a joué un rôle essentiel dans la définition du sujet de cette thèse. Je le remercie d'avoir accepté, malgré ses responsabilités très prenantes, de juger l'ensemble de ce travail.

Monsieur J.C. Le Guen, Professeur de biologie halieutique à l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes (ENSAR) et Directeur de recherches à l'ORSTOM, m'a fait profiter de ses compétences en Dynamique des Populations et en Halieutique. Il a, de plus, accepté le rôle de rapporteur de ce travail. Je l'en remercie sincèrement.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur J. L. Durand, responsable du laboratoire IFREMER de Mathématiques Appliquées à l'Exploitation des Ressources Halieutiques et Aquacoles (MAERHA), et Madame D. Pelletier, chercheur dans ce laboratoire, qui m'ont permis par leurs critiques et suggestions d'améliorer la qualité du travail présenté.

Monsieur J. Bertrand, Directeur de la station IFREMER de Sète, a accepté de juger cette thèse. Je le remercie vivement de cette marque d'intérêt.

Ces remerciements sont l'occasion d'exprimer ma reconnaissance à Messieurs A. Fontana, Directeur de recherches à l'ORSTOM, et A. Maucorps, Directeur du département des Ressources Halieutiques à l'IFREMER, qui, en m'affectant six mois au laboratoire d'Ecologie Numérique de l'Université de Lille à mon retour de Guyane, -malgré le surcroît de travail des équipes IFREMER-, m'ont permis de rédiger ce mémoire. Autrement, ce dernier n'aurait pas pu voir le jour.

Mes plus vifs remerciements s'adressent aussi :

- à Messieurs J. Rosé, G. Delmas et J. Achoun, Techniciens à la station IFREMER de Guyane pour leur concours amical dans une partie des recherches.

- à Messieurs C. Colin et F. Lhomme, Directeurs de recherche à l'ORSTOM, qui ont bien voulu mettre à notre disposition le N/O "André Nizery", en n'hésitant pas à réduire la durée de leurs campagnes de recherches.

- à Messieurs J. Marin et C. Dintheer, Directeurs de la station IFREMER de Guyane, pour leur appui scientifique et matériel.

- à Messieurs A. Leprêtre (USTL) et G. Chapalain (CNRS), chercheurs au laboratoire d'Ecologie Numérique de l'USTL, pour leur accueil et les moyens de travail qu'ils ont mis à ma disposition.

- à Monsieur M. Krzesaj, ingénieur informaticien au CITI de l'USTL, pour son efficace collaboration dans la représentation graphique des résultats de calcul.

Je tiens beaucoup à remercier Messieurs P. Tous, E. Prévost et L. Berti, Volontaires à l'Aide Technique à la station IFREMER de Guyane, pour leurs participations aux campagnes de prélèvements et aux traitements des échantillons.

RESUME

La pêche du vivaneau rouge (*Lutjanus purpureus*), de type monométier et monospécifique, est une activité traditionnelle des pêcheurs vénézuéliens au large de la Guyane. L'espèce est capturée par des ligneurs de 15 à 20 m de longueur, qui sont peu mécanisés et qui demandent une main d'oeuvre abondante (14 marins par bateau). Depuis 1980, l'effort de pêche et la capture n'ont pas cessé de croître et sont passés de 5 navires produisant environ 45 t en 1980 à 43 navires produisant 1000 t en 1991. Le problème posé, face à ce développement, est de déterminer les potentialités d'exploitation de ce stock.

La dynamique de la population de vivaneau rouge de Guyane est étudiée en utilisant à la fois l'approche globale puis l'approche analytique. Enfin la complémentarité des deux analyses est étudiée en déterminant le coefficient q de capturabilité. C'est un coefficient de proportionnalité entre les paramètres F et f ($F=q.f$), f étant l'effort de pêche et F le coefficient instantané de mortalité par pêche. La méthode présente l'intérêt de recaler entre elles les deux analyses indépendantes. On est alors en mesure de simuler numériquement les variations de production engendrées par des variations d'effort de pêche.

Dans l'analyse globale nous utilisons comme données de base les statistiques de pêche. En divisant la capture par l'effort, on obtient une série de valeurs de Prise par Unité d'Effort (PUE). Le traitement de ces PUE par un modèle multiplicatif à trois facteurs apportent en sorties trois types de données élaborées : les abondances annuelles de vivaneau rouge, les puissances de pêche des ligneurs et les abondances de vivaneau rouge dans les strates spatio-saisonnnières. Ces deux derniers facteurs sont définis à un facteur arbitraire près, en choisissant un bateau et une strate spatio-saisonnnière de référence.

Les navires forment un ensemble relativement homogène et peu variable vis-à-vis de leur pouvoir de capture. Les variations de puissance de pêche s'expliquent simplement par une différence de savoir-faire entre les pêcheurs : aptitude du patron à détecter les bancs de vivaneau rouge, et habileté des pêcheurs à ferrer les poissons.

Une augmentation d'abondance en fonction de la profondeur est observée dans les strates spatio-saisonnnières, entre 30 m et 130 m. Cette relation est bien marquée quelque soit le mois d'activité, reflète une stabilité saisonnière des conditions hydrologiques, et s'explique par une répartition différentielle des groupes de taille selon la profondeur, les individus juvéniles étant présents à la côte et les adultes au large. L'effort de pêche est localisé préférentiellement entre 50 et 70 m, quelque soit le mois d'activité et n'est donc pas maximal dans les strates où l'est l'abondance du vivaneau rouge. Ainsi la flottille ne

semble pas allouer le maximum de son effort dans les strates de plus forte abondance de vivaneau rouge, qui pourtant est l'espèce la plus ciblée.

L'indice annuel d'abondance subit une baisse de 25 % au cours des 5 années d'observations (1987-1991), dont la cause principale est attribuée à l'augmentation corrélative de l'effort de pêche qui a augmenté de 77 % pendant la même période. La série de données est trop courte et la fenêtre d'observations trop étroite pour simuler à elles seules les variations de production engendrées par des variations d'effort de pêche.

La difficulté précédente est contournée en étudiant la dynamique du stock à partir de la structure en taille des captures. Les coefficients de mortalité par pêche et les effectifs de survivants par classes de taille sont estimés à l'aide de la technique d'APV sur les tailles, sous réserve que ce stock soit en équilibre. Le rendement par recrue est déterminé en faisant varier le taux d'exploitation, exprimé par un multiplicateur du diagramme d'exploitation. La courbe de rendement par recrue indique que toute augmentation du multiplicateur du diagramme d'exploitation provoquerait à l'équilibre une baisse du rendement par recrue. D'autre part la longueur à laquelle tous les individus ont atteint leur première maturité sexuelle (38 cm) est proche de la longueur de pleine capturabilité (41 cm), si bien que la majeure partie des prises est constituée d'animaux adultes. Ainsi la taille des hameçons utilisée par les pêcheurs assure une protection satisfaisante au stock d'animaux juvéniles.

La complémentarité de ces deux analyses passe par l'étude de la relation entre F et f ($F = q.f$), f étant l'effort de pêche et F le coefficient instantané de mortalité par pêche, en considérant le coefficient q comme constant. Dans la réalité ce coefficient varie en fonction de plusieurs facteurs. Il dépend du bateau qui a fait la pêche, de la strate spatio-temporelle où elle a eu lieu, et de la classe de taille à laquelle appartient le poisson considéré. Le problème qui se pose est de mesurer cette variabilité dans toutes les dimensions de façon à dégager une variabilité d'ensemble, stable dans le temps, qui soit annuellement reproductible. La solution retenue consiste à standardiser le coefficient de capturabilité, qui devient égal à la probabilité qu'a le bateau de référence de pêcher dans la strate spatio-temporelle de référence une unité de biomasse de taille identique à la taille de référence. q est donc égal au rapport entre le coefficient de mortalité par pêche standard et l'effort de pêche standard. Les prévisions de capture seront faites dans ces conditions standards.

Cette connaissance préalable du facteur q permet d'ajuster les données disponibles de capture et d'effort au modèle global de Fox et de porter un diagnostic final sur l'état d'exploitation du stock : une ressource stable, surexploitée et en phase transitoite. Nous en déduisons que, premièrement, si l'effort se maintenait au niveau actuel, il faudrait

prévoir dans les années à venir une baisse importante de la production, et deuxièmement, si on voulait maintenir le stock à un niveau tel que la production soit maximale, il faudrait ramener l'effort de pêche standard au niveau de l'année 1987, ce qui correspond à une diminution de 43 % de l'effort de pêche actuel.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	2
RESUME.....	
SOMMAIRE.....	7
LISTE DES PRINCIPALES NOTATIONS UTILISEES.....	15
I- INTRODUCTION GENERALE	18
II- CONTEXTE ECOLOGIQUE ET ECONOMIQUE	
II-1. L'ENVIRONNEMENT.....	26
II-1.1. Climat et rythme saisonnier des alizés.....	
II-1.2. Les eaux marines.....	
II-1.2.1. Nature et origine des masses d'eaux.....	
II-1.2.2. Structure verticale et circulation des masses d'eaux.....	28
II-1.3. Le plateau continental.....	30
II-1.3.1. Bathymétrie et topographie.....	
II-1.3.2. La couverture sédimentaire.....	
II-2. LA PECHE EN GUYANE.....	32
II-2.1. Description et rôle économique.....	
II-2.2. La pêche côtière.....	
II-2.3. La pêche des crevettes pénéides.....	33
II-2.4. La pêche du vivaneau rouge.....	34
II-2.4.1. La phase d'expansion : 1980-1990.....	
II-2.4.2. Description de la flottille et des méthodes de pêche.....	35
II-2.4.3. Composition spécifique des captures.....	
II-2.4.4. Organisation à terre et analyse économique.....	36

II-3. COMPARAISON AVEC D'AUTRES REGIONS OÙ LES MÊMES ESPECES DE VIVANEUX EXISTENT.....	40
II-3.1. La production mondiale des lutjanidés.....	
II-3.2. La pêcherie américaine du golfe du mexique.....	42
II-3.3. La pêcherie vénézuélienne du plateau des Guyanes.....	43
II-3.4. La pêcherie brésilienne de la côte nord-est.....	44
II-4. LA POPULATION DE VIVANEAU ROUGE DES CÔTES NORD-EST D'AMERIQUE DU SUD.....	45
II-4.1. Situation taxonomique et répartition géographique.....	
II-4.2. Habitat et écologie trophique des lutjanidés.....	46
II-4.3. Croissance, longévité et stratégie démographique des lutjanidés.....	47
II-4.4. Reproduction des lutjanidés.....	48
II-4.5. Migrations et cycle biologique du vivaneau rouge.....	49
II-4.6. Délimitation des stocks de vivaneau rouge.....	50
III- METHODES	51
III-1. ANALYSE GLOBALE	
III-1.1. Estimation de la production annuelle dans la ZEE.....	
III-1.1.1. Choix et justification du plan d'échantillonnage.....	
III-1.1.2. Notations et formules.....	52
III-1.2. Traitement des statistiques de pêche.....	
III-1.2.1. Présentation du modèle linéaire et des hypothèses requis.....	
III-1.2.2. Ajustement et programmation.....	56
A) Présentation générale de la technique des moindres- carrés.....	
B) Les équations d'ajustement par moindres-carrés pondérés.....	58
C) Résolution après réduction des dimensions.....	60
- partition des matrices.....	
- résolution partielle et substitution.....	

	- application au problème posé.....	61
D)	Inférences statistiques.....	64
	- considérations générales.....	
	- particularités du modèle stochastique simple.....	66
	- remarque sur l'importance du facteur de correction du biais.....	67
III-1.2.3.	Conclusion pratique.....	68
III-1.2.4.	Les données : origine, contenu et structure des fichiers d'archivage.....	70
III-1.3.	Estimation de la production en fonction de l'effort de pêche.....	72
III-1.3.1.	Description du modèle global et hypothèses sous- jacentes.....	
III-1.3.2.	Estimation des paramètres.....	75
A)	Sensibilité du modèle.....	
B)	Approximation de l'équilibre.....	76
C)	Ajustement.....	
	- linéarisation.....	77
	- technique de calcul.....	78
D)	Remarque sur le choix d'un modèle stochastique.....	79
III-1.3.3.	Vers une complexification du modèle global.....	80
III-1.3.4.	Difficultés d'utilisation du modèle global.....	
III-2.	ANALYSE STRUCTURALE.....	81
III-2.1.	Acquisition des paramètres biologiques nécessaires à l'analyse.....	82
III-2.1.1.	Les campagnes de pêche expérimentale.....	
A)	Les campagnes au chalut de fond.....	83
B)	Les campagnes à la ligne à main.....	84
III-2.1.2.	Les phénomènes biologiques étudiés	86
A)	Sex-ratio.....	
B)	La reproduction.....	
C)	La croissance.....	87
	- modèle de croissance de Von Bertalanffy.....	
	- difficultés de lecture des pièces squelettiques.....	
	- analyse modale des distributions en taille.....	88
D)	Principales méthodes d'analyse des distributions en taille en vue d'estimer les paramètres de croissance	

- Méthodes basées sur le déplacement des modes	89
- Méthodes basées sur d'autres descripteurs statistiques que les modes	98
III-2.2 Estimation des distributions en taille des captures annuelles.....	100
III-2.2.1. Présentation du problème.....	
III-2.2.2. Choix et justification de la procédure d'échantillonnage à terre.....	
III-2.2.3. Plan d'échantillonnage.....	103
III-2.2.4. Expression mathématique des estimateurs.....	104
III-2.3. Estimation du taux de mortalité et de l'abondance des effectifs survivants à partir d'une distribution en longueur des captures (pseudo-cohorte).....	105
III-2.3.1. Les équations de base de l'Analyse des Populations Virtuelles (APV) sur les longueurs.....	
III-2.3.2. Initialisation des calculs et propriété de convergence de la méthode d'APV.....	107
III-2.4. Estimation du rendement, de la PUE relative et de la biomasse féconde par recrue en fonction du taux de mortalité par pêche.....	108
III-2.5. Répercussion des erreurs d'estimation des paramètres initiaux sur les fonctions de mortalité par pêche et de rendement par recrue.....	109
III-2.5.1. Evaluation de la sensibilité d'une fonction aux conditions initiales.....	110
III-2.5.2. Approximation des variances et biais.....	111

IV- ANALYSE GLOBALE DE LA DYNAMIQUE DU STOCK DE VIVANEAU ROUGE

IV-1 DESCRIPTION DES ETAPES SUIVIES.....	112
IV-1.1. Les données nécessaires à la modélisation.....	113
1) La production annuelle (1985-1991).....	
2) Les PUE et effort de pêche par bateau, strate spatio- saisonnnière et année (1987-1991).....	
3) Les efforts de pêche nominaux annuels (1987-1991).....	
IV-1.2. Construction du modèle global.....	115

IV-2.	ESTIMATION DES PARAMETRES NECESSAIRES A LA MODELISATION.....	116
IV-2.1.	Estimation de la capture annuelle de vivaneau rouge.....	
IV-2.2.	Résultats du traitement des prises par unité d'effort (PUE) selon un modèle auxiliaire à trois facteurs.....	118
IV-2.2.1.	Choix du modèle.....	
IV-2.2.2.	Les puissances de pêche des navires et leur variation.....	
IV-2.2.3.	Variabilité de l'abondance apparente (AA) des strates spatio-saisonnères.....	121
IV-2.2.4.	Relation entre l'abondance apparente et l'effort de pêche des strates spatio-saisonnères.....	125
IV-2.2.5.	Variabilité de l'abondance apparente annuelle et estimation de l'effort de pêche standard.....	
IV-2.3.	Vérification des résultats : comparaison entre PUE calculées et observées.....	129
IV-3.	CONCLUSION PROVISOIRE : ESTIMATION DE LA PRODUCTION EN FONCTION DE L'EFFORT DE PECHE.....	131

V- ANALYSE STRUCTURALE DE LA DYNAMIQUE DU STOCK DE VIVANEAU ROUGE

V-1.	ACQUISITION DES PARAMETRES BIOLOGIQUES NECESSAIRES A L'ANALYSE.....	134
V-1.1.	Sex-ratio	
V-1.2.	Reproduction	135
V-1.2.1.	Périodes de ponte.....	
V-1.2.2.	Longueur de première maturité sexuelle.....	137
V-1.3.	Estimation des paramètres de croissance par analyse des distributions en taille	139
V-1.3.1.	Méthodes graphiques d'analyse modale	
	A) Analyse modale des cohortes d'animaux juvéniles.....	
	B) Analyse modale des cohortes d'animaux adultes.....	141
V-1.3.2.	Méthodes basées sur d'autres descripteurs statistiques que les modes	143

V-1.3.3. Méthodes d'analyse modale par optimisation numérique sans hypothèse de normalité	145
V-1.3.4. Méthodes d'analyse modale par optimisation numérique avec hypothèse de normalité	147
V-1.3.5. Comparaison des résultats avec ceux trouvés dans la littérature.....	152
V-1.4. Conclusion.....	154
 V-2. ESTIMATION DU TAUX DE MORTALITE PAR PECHE ET DE L'ABONDANCE DES EFFECTIFS SURVIVANTS DANS LE STOCK A PARTIR D'UNE DISTRIBUTION EN LONGUEUR DES CAPTURES	
V-2.1. Evolution de la distribution en taille des captures annuelles entre 1986 et 1991.....	155
V-2.2. Analyse de Population Virtuelle (APV) sur les longueurs.....	157
V-2.2.1. Choix du coefficient F^+ de la classe terminale $L(I^+)$	
V-2.2.2. Estimation des coefficients de mortalité par pêche F	159
V-2.2.3. Estimation du recrutement.....	
V-2.3. Sensibilité des mortalités par pêche.....	
V-2.4. Variations des mortalités par pêche en réponse aux variations des paramètres M et F^+	160
V-2.5. Intervalles de confiance des mortalités par pêche à partir des matrices de covariances des captures et des paramètres de croissance	161
 V-3. ESTIMATION DU RENDEMENT PAR RECRUE EN FONCTION DU TAUX DE MORTALITE PAR PECHE.....	163
V-3.1. Prévisions en terme de rendement, de PUE relative et de biomasse féconde par recrue.....	
V-3.2. Sensibilité de la fonction de rendement par recrue.....	165
V-3.3. Variations de la fonction de gain-perte en réponse aux variations des paramètres M et F^+	166
V-3.4. Intervalles de confiance de la fonction de gain-perte à partir des matrices de covariances des captures et des paramètres de croissance.....	167
V-3.5. Influence de la sélectivité des hameçons.....	

V-4. CONCLUSION PROVISOIRE : UN STOCK AYANT VRAISEMBLABLEMENT DEPASSE SA PRODUCTION MAXIMALE.....	169
VI- PERSPECTIVES D' EXPLOITATION DES STOCKS DE LUTJANIDES DANS LA PECHE GUYANAISE	
VI-1. COMPLEMENTARITE DES DEUX ANALYSES.....	172
VI-1.1. Présentation du problème et de sa solution.....	
VI-1.2. Définition de l'effort de pêche standard.....	173
VI-1.3. Définition de la biomasse exploitée par le métier v.....	174
VI-1.4. Définition du coefficient de capturabilité standard.....	175
VI-1.5. Relation entre l'effort de pêche standard et le taux de mortalité par pêche standard.....	176
VI-1.6. Conséquences de la standardisation.....	
VI-1.6.1. Ajustement des données à un modèle global.....	177
VI-1.6.2. Recalage des paramètres F' et f'	
VI-2. EXEMPLE D' APPLICATION DES RESULTATS DE L'ETUDE : LES LIMITES DE L'INTENSIFICATION DE L'EXPLOITATION ACTUELLE DU VIVANEAU ROUGE.....	178
VI-2.1. Estimation du coefficient de capturabilité	
VI-2.2. Estimation des autres paramètres de l'équation de Fox.....	
VI-2.3. Diagnostic final de l'état du stock de vivaneau rouge : une ressource stable, surexploitée et en phase transitoire.....	181
VI-3. LES AUTRES SCENARIOS D'EXPLOITATION ENVISAGEABLES.....	182
VI-3.1. Les possibilités du chalutage : le vivaneau ti-yeux, une ressource inexploitée.....	
VI-3.1.1. Résultats des pêches expérimentales.....	
VI-3.1.2. Résultats des pêches commerciales.....	184
VI-3.2. Développement d'une flottille locale de ligneurs-palangriers	186
VI-3.3. Les interactions entre les différentes composantes d'exploitation.....	
Le vivaneau rouge <i>Lutjanus purpureus</i>	
Le vivaneau ti-yeux <i>Rhomboplites aurorubens</i>	
Le vivaneau rayé <i>Lutjanus synagris</i>	

VII- CONCLUSION GENERALE

.....	189
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	196
ANNEXE 1 : Listing du programme informatique PUIS3.....	206
ANNEXE 2 : Structure du fichier de la base des statistiques de pêche.....	235
ANNEXE 3 : Exemple de fiche de station utilisée en pêche expérimentale.....	237
ANNEXE 4 : Exemple de la communication " Pérodou J.B., E. Prévost, 1989. The fishery of the southern red snapper (<i>Lutjanus purpureus</i>) in French Guiana : analysis and processing of fishery statistics. Bol. Inst. Ocenogr. Venezuela, Univ, Oriente, 28(1 et 2) 253-261	239
ANNEXE 5 : Estimation des effectifs capturés de vivaneau rouge par mois	249
ANNEXE 6 : Distribution en taille des effectifs capturés par an, entre 1986 et 1991.....	254
ANNEXE 7 : Analyse de pseudo-cohorte (APV) sur les tailles à partir des effectifs moyens par an, capturés sur la période 1989-1991.....	256
ANNEXE 8 : Résultats de l'analyse structurale : prévisions en terme de rendement, de PUE relative et de biomasse féconde par recrue.....	258
ANNEXE 9 : Rendements (en kg/demi-heure de pêche) des trois principales espèces de lutjanidés, capturées au chalut de fond à bord du N.O. "André Nizery".....	260

LISTE DES PRINCIPALES NOTATIONS UTILISEES

Les notations se rapportent à une seule flottille exploitant un seul stock dans un territoire donné. Le pas de temps considéré est l'année.

A) MODELE GLOBAL

N_b :	Nombre de bateaux indicés par $i = 1, \dots, N_b$
N_s :	Nombre de strates spatio-saisonnères indicées par $j = 1, \dots, N_s$
N_y :	Nombre d'années indicées par $k = 1, \dots, N_y$
N_o :	Nombre de PUE indicées par $\ell = 1, \dots, N_o$ (chaque secteur fréquenté au cours d'une marée donne lieu à une mesure de PUE)
U :	PUE = capture pondérale par unité d'effort de pêche
u :	sa valeur logarithmique
P_i :	puissance de pêche relative du navire i
p_i :	sa valeur logarithmique
A_j :	abondance apparente relative de l'espèce dans la strate spatio-saisonnère j
a_j :	sa valeur logarithmique
D_k :	densité apparente absolue de l'espèce par unité d'effort pour l'année k
d_k :	sa valeur logarithmique
E_ℓ :	résidu inexplicé du modèle multiplicatif relatif à la marée ℓ
e_ℓ :	sa valeur logarithmique (modèle additif)
m_ℓ :	facteur de pondération attaché à la PUE ℓ
Y_y :	capture pondérale débarquée par la flottille au cours de l'année y
$Y_e(f)$:	capture pondérale théorique par an que devrait pêcher la flottille si le stock était en état d'équilibre

- f_y : effort de pêche annuel et global de la flottille (équivalent à l'intensité de pêche cumulée sur l'ensemble de la zone et de l'année y)
- \tilde{f}_y : effort de pêche de l'année y pondéré par les efforts de pêche des années passées selon la pondération de Fox (1975)
- q : coefficient global de capturabilité. C'est la probabilité qu'a une unité de biomasse d'être capturée par une unité d'effort de pêche.
- B_y : biomasse exploitée l'année y
- $B_e(f)$: biomasse exploitée théorique du stock en état d'équilibre
- $U_e(f)$: capture pondérale théorique par unité d'effort de pêche du stock en état d'équilibre

B) MODELE ANALYTIQUE

- $L(i)$: classe de longueur $i = 1, \dots, I$
- $L(1)$: classe de longueur d'entrée dans les captures, au moment du recrutement
- $L(I)$: classe de longueur dite de réforme, à partir de laquelle les poissons n'apparaissent plus dans les captures
- Δt_i : intervalle de temps que met un individu pour passer de la longueur $L(i)$ à la longueur $L(i+1)$
- L_∞ et K : paramètres de croissance de l'équation de Von Bertalanffy
- C_i : nombre d'individus capturés par an et par classe de longueur $L(i)$
- C^+ : nombre d'individus capturés par an dont la longueur est supérieure à $L(i)$
- N_i : effectif du stock par an et par classe de longueur $L(i)$
- N^+ : effectif du stock par an dont la classe de longueur est supérieure à $L(I)$

- F_i : coefficient annuel de mortalité par pêche par classe de longueur $L(i)$
- F^+ : coefficient annuel de mortalité par pêche sur l'ensemble des classes de longueur supérieures à $L(i)$
- M : coefficient annuel de mortalité naturelle considéré comme constant au cours de la phase d'exploitation
- Z^+ : = F^+ / M : coefficient annuel de mortalité totale
- E^+ : = $F^+ / Z^+ = C^+ / E^+$: taux d'exploitation des individus dont la classe de longueur est supérieure à $L(i)$
- R : recrutement ; nombre d'individus de longueur $L(i)$ par an dans le stock
- I' : indice de la classe de longueur terminale choisi de sorte que $L(I' + 1) \geq L_m$
- μ : multiplicateur du diagramme d'exploitation
- B_F : biomasse féconde, c'est à dire la biomasse restreinte aux individus reproducteurs
- P_i^+ : proportion d'individus matures par classe de longueur $L(i)$

C) CALIBRATION DES MODELES

- U_y^* : = D_y = PUE standard, c'est à dire la PUE qu'obtiendrait le bateau de référence s'il pêchait dans la strate spatio-saisonnière de référence l'année y
- f_y^* : = Y_y / D_y : effort standard équivalent à celui que devrait dépenser le navire de référence en pêchant dans la strate spatio-temporelle de référence pour capturer la quantité Y_y débarquée par la flottille l'année y
- F_y^* : coefficient annuel de mortalité par pêche (global sur l'ensemble des classes de longueur) l'année y
- q_i : coefficient de capturabilité par classe de longueur $L(i)$

I- INTRODUCTION GENERALE

I- INTRODUCTION GENERALE

Située au nord de l'Amérique du sud, entre le Brésil et le Surinam, la Guyane est un département français d'outre-mer de 91000 km² à faible densité de population (115 000 habitants en 1990) où domine la forêt dense. Le Centre aérospatial de Kourou lui fournit sa principale activité. Elle offre des ressources naturelles (mines d'or, forêt, pêche) dont l'exploitation reste à rationaliser, à l'exception peut-être de la pêche crevettière. La société est pluriraciale et n'a pas de véritable tradition maritime, bien que crevettes et poissons fassent partie de sa culture culinaire.

Bien que la Guyane possède une mer poissonneuse, elle ne dispose pas d'une communauté suffisamment nombreuse de pêcheurs ni de consommateurs pour absorber sa production potentielle. Eloignée des centres de consommation, elle doit exporter sa production et affronter la concurrence internationale. Elle doit aussi attirer chez elle des pêcheurs qualifiés et en former localement de nouveaux.

La pêche est structurée en trois ensembles bien discernables. Une flottille traditionnelle, composée de pirogues et de canots pontés, exploite les ressources de la bande littorale et alimente le marché local. Une flottille s'est spécialisée dans la pêche des crevettes pénéides. Enfin une flottille de ligneurs vénézuéliens pêchent les poissons du large, essentiellement des lutjanidés (ou vivaneaux) et des requins, et vendent leur capture aux industries de transformation locale. La production de crevettes et de vivaneaux est exportée en quasi-totalité.

L'évolution de la pêche a été marquée au cours de l'année 1977 par la mise en place d'un nouveau droit maritime international, les pays riverains s'étant appropriés les ressources marines sur une distance de 200 milles nautiques vers le large. Une Zone Economique Exclusive (ZEE) de 130 000 km² a ainsi été instaurée au large de la Guyane.

La réglementation des pêches est élaborée au niveau de la CEE. Elle repose pour les pêcheurs de la CEE sur l'attribution de quotas annuels par stocks et par pays, et sur les conditions dans lesquelles les captures doivent être effectuées. Pour les navires étrangers travaillant dans la ZEE communautaire, l'effort de pêche est limité par un système de licences annuelles par bateaux, stocks et pays. La réglementation communautaire dans la ZEE guyanaise est complétée par des mesures spécifiques qui cherchent à favoriser le développement local de la filière pêche.

Ainsi, pouvant agir sur la réglementation des pêches, l'administration et la profession ont contribué, au cours de la décennie précédente, à remplacer la flottille crevettière

d'origine étrangère par une flottille nationale, ce qui a eu pour effet d'accroître la part locale de la valeur ajoutée qui se dégage de l'exploitation de cette ressource. Aujourd'hui l'industrie crevettière, face à une régression de ses ventes, envisage de diversifier sa production en se tournant vers des poissons du large comme les vivaneaux. La pêche côtière les convoite aussi. Elle tente de se développer en augmentant le nombre de ses navires par de nouvelles unités plus grandes et plus puissantes. Enfin, depuis le début des années 80 l'augmentation continue du nombre de licences accordées aux ligneurs vénézuéliens a fortement augmenté la production de vivaneau rouge au profit de l'industrie locale de transformation.

Face à cette volonté de développement, l'intérêt de gérer la pêcherie est considérable. En effet la théorie comme la pratique montre qu'en absence de mécanismes de gestion, la pêche tombe dans une faillite socio-économique qui tient à la nature de la ressource, ressource cachée, renouvelable mais limitée, et en propriété commune. Il en découle que les bonnes pêches obtenues dans la phase préliminaire d'expansion entraînent une croissance des investissements conduisant à une baisse de la biomasse et de la production. Les unités de production sont alors en concurrence directe pour exploiter la ressource. Cette évolution en spirale mène inévitablement à un surinvestissement tel que le bénéfice global de l'activité devient nul, voire négatif dans le cas où des subventions sont distribuées pour soutenir un secteur en crise chronique.

Dans le cadre des travaux pour définir une gestion optimale, nous avons entrepris d'identifier et d'évaluer les stocks de vivaneaux, en particulier de vivaneau rouge, de déterminer quelles en sont les potentialités de production, et de proposer différents scénarios d'exploitation possibles. Le présent document fait le point de quatre années d'investigations (1989-1992).

Nos connaissances sur l'écologie des ressources exploitables du plateau continental guyanais sont sommaires comparées à celles des régions tempérées. Ainsi la première campagne d'inventaire des ressources a été réalisée récemment en 1970 (Abbes et al., 1971). De même la biologie des populations de lutjanidés est peu connue. Par exemple, la première publication traitant de l'identification des oeufs et larves de cette famille date de 1974 (Leis, 1987). Cette méconnaissance tient au faible effectif de chercheurs travaillant dans les régions tropicales ainsi qu'au caractère peu structuré de l'exploitation, qui fait qu'il est difficile d'obtenir des données fiables sur cette activité. Il y a là une lacune dans nos connaissances qu'il serait utile de combler vu l'importance économique de ces espèces.

Néanmoins, l'information acquise sur le terrain et disponible dans la littérature est loin d'être négligeable. Elle est suffisante pour tenter en s'aidant des modèles de faire une synthèse et de comprendre pour la première fois la dynamique de ce stock. Nous présenterons ici cette tentative, en nous appuyant en outre sur les premières données de pêche expérimentale concernant le vivaneau rouge ainsi que d'autres espèces de lutjanidés non encore exploitées.

Les vivaneaux forment avec les mérours un groupe d'espèces démersales à forte valeur marchande, capturées dans les mers de la zone intertropicale. La plupart de celles qui ont un intérêt commercial habitent les récifs du large entre 60 et 250m de profondeur, sont de grande taille, abondantes et largement dominantes dans les captures. Aux plus faibles profondeurs se pêchent des espèces de vivaneaux et mérours de plus petite taille qui constituent, bien qu'économiquement importantes, une faible part des captures. Des dizaines d'espèces sont pêchées simultanément. Les observations montrent qu'en réponse à des variations du taux d'exploitation apparaît une séquence de changement dans la composition en espèces des prises. Ces changements faunistiques sont difficilement prévisibles à l'heure actuelle : en effet, nos connaissances des communautés d'espèces sont insuffisantes pour en maîtriser la dynamique. Le problème de leur gestion apparaît insoluble, mis à part des évaluations empiriques basées sur des modèles de production globaux multispécifiques.

En revanche, il est possible de concevoir des schémas de gestion pour les espèces profondes de par la nature monospécifique de leur exploitation. Ces espèces seront gérées comme des entités séparées du reste de la communauté. Ainsi pourra-t-on agir sur la limitation de la capture par quota, la limitation de l'effort de pêche, la fermeture de zones et de périodes de pêche, et sur la réglementation de la taille des poissons et la dimension des engins de pêche. Nous nous sommes limité à l'étude dynamique d'une espèce de cette catégorie : le vivaneau rouge (*Lutjanus purpureus*) qui est la seule espèce de lutjanidés exploitée en Guyane.

La dynamique de la population de vivaneau rouge sera étudiée en utilisant à la fois l'approche globale puis l'approche analytique.

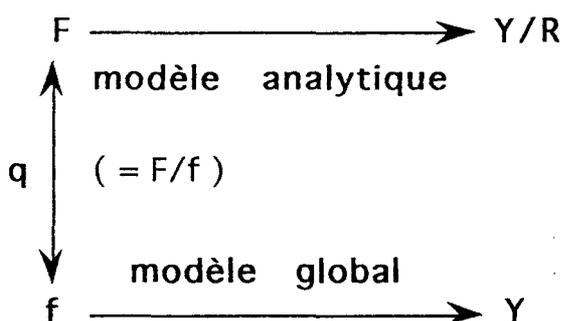
A) **Approche globale** : on mesurera à l'aide de statistiques de pêche l'évolution de la production Y (en tonnes/an) en fonction de l'effort de pêche E (en jours de pêche/an) exercé sur le stock. C'est une approche qui n'analyse pas le mécanisme biologique de renouvellement de la population, supposé seulement être en équilibre dynamique avec son milieu, les gains de biomasse étant compensés par les pertes. Il s'agit d'un prolongement du modèle général de croissance d'une population de Verhulst-Pearl (1925) auquel est ajouté un terme prenant en compte la mortalité par pêche.

B) **Approche analytique** : une analyse structurale nous permettra ensuite d'approfondir la dynamique de la phase recrutée de ce stock et de prévoir les captures à partir d'un modèle faisant intervenir le taux d'exploitation exprimé par le coefficient F de mortalité par pêche. Ce taux F est défini par le rapport, à l'intérieur d'une unité de temps (année), entre le nombre d'individus capturés et le nombre d'individus présents dans la population. Il est déterminé par l'application de la technique d'Analyse de Population Virtuelle (APV) (Mesnil, 1980) qui, à partir de la structure démographique des captures, remonte à la structure démographique de la population exploitée. Cette technique est très performante à condition que soit précisément connu le nombre total de poissons capturés.

Puis, à l'aide des paramètres biologiques décrivant la croissance et la reproduction, on déterminera la relation entre le taux F de mortalité par pêche et la production par poisson recruté Y/R , qui ne nécessite pas de connaissance préalable sur la relation entre le nombre de recrues R , et le nombre de géniteurs dont elles sont issues.

C) En dernier lieu la complémentarité des deux analyses sera étudiée en calculant le coefficient q de capturabilité entre les paramètres F et f . q est la probabilité qu'a une unité de biomasse d'être capturée par une unité d'effort. La méthode présente l'intérêt de recaler entre elles les deux analyses indépendantes - ce qui est rarement réalisé en dynamique des populations. On sera alors en mesure de simuler numériquement les variations de production engendrées par des variations d'effort de pêche.

En résumé la démarche méthodologique suivie dans cette thèse est représentée par le schéma suivant :



Trois sources d'information seront employées pour modéliser la pêche.

(1) Pour l'analyse globale, nous utiliserons les *statistiques de pêche* obtenues par un système d'enquête à terre auprès des pêcheurs et des transformateurs. Les variables observées sont la capture (en tonnes) et l'effort de pêche (en jours de pêche x bateaux), pour chaque espèce, zone et marée.

L'unité d'effort de pêche est choisie égale au jour de pêche d'un bateau quel que soit le bateau. En divisant la capture totale par l'effort pour chaque marée, on obtient une série de valeurs de Prises par Unité d'Effort (PUE). Dans les modèles, les PUE sont supposées être proportionnelles à la biomasse exploitée.

Or, une PUE dépend, en plus de l'abondance du poisson, de l'efficacité du navire et de l'endroit et de la saison où il pêche. Pour s'affranchir de cette variabilité, les PUE seront exprimées en fonction d'un modèle multiplicatif à trois facteurs : $U = D \cdot P \cdot A \cdot E$ où U est la PUE, D l'abondance annuelle, P la puissance de pêche, A l'abondance spatio-saisonnaire et E un facteur aléatoire. On passe à une formule additive traitable en modèle linéaire en posant $u = \ln U$, $d = \ln D$, $p = \ln P$, $a = \ln A$ et $\varepsilon = \ln E$: $u = d + p + a + \varepsilon$ où ε est un terme aléatoire.

En fait ces quantités sont définies à un facteur arbitraire près : pour comparer entre eux les résultats des différents bateaux et strates, on choisit un bateau standard et une strate standard, auxquels on assigne les valeurs $P_1 = 1$ ($p_1 = 0$) et $A_1 = 1$ ($a_1 = 0$). Les PUE seront calculées comme indiqué dans le schéma suivant (limité pour l'exemple à l'année y , 3 bateaux et 3 strates) :

bateau \ strate	1	2	3
1	D_y	$D_y \cdot A_2$	
2	$D_y \cdot P_2$	$D_y \cdot P_2 \cdot A_2$	$D_y \cdot P_2 \cdot A_3$
3			$D_y \cdot P_3 \cdot A_3$

D_y équivaut à une PUE standard. En divisant la capture annuelle Y_y de la flottille par la PUE standard on obtient un effort standardisé annuel E_y . Il représente l'effort qu'aurait dû dépenser le navire de référence pour obtenir la capture annuelle Y_y de la flottille s'il avait pêché dans la strate spatio-temporelle de référence. C'est cet effort standard qui est utilisé pour faire des prévisions de capture.

Ce traitement des PUE nécessitera la mise au point d'un programme informatique qui devrait avoir un intérêt halieutique dépassant le cadre de cette première application.

(2) La deuxième source d'information, utilisable cette fois dans l'analyse structurale, sera constituée par les *paramètres biologiques* liés à la croissance et la reproduction. Pour cela, des sorties en mer ont été réalisées à bord des navires professionnels. De plus, à l'occasion de la disponibilité du N.O. "André Nizery" de l'ORSTOM, des pêches expérimentales ponctuelles ont permis de récolter des données biométriques sur la fraction du stock de vivaneau rouge non capturée par la pêche commerciale et sur d'autres espèces inexploitées de lutjanidés.

La détermination des paramètres de la croissance individuelle moyenne selon le modèle de Von Bertalanffy passe par la mesure des tailles modales des cohortes¹ supposées identifiées et suivies dans le temps². L'étude de la reproduction sera limitée à l'évolution mensuelle de l'état de maturité des gonades dans les classes de taille. La détermination de la taille d'apparition de la première maturité sexuelle permettra de distinguer une biomasse féconde au sein de la biomasse totale. L'intervalle de temps qui sépare deux périodes successives de ponte sera pris comme identique à l'intervalle de temps qui sépare deux cohortes.

(3) Enfin, comme troisième et dernier type d'information, également utilisable dans l'analyse structurale, l'acquisition chaque année de la *distribution en longueur des animaux capturés* nécessitera la mise en place d'un plan d'échantillonnage au débarquement.

La variable aléatoire à estimer est l'effectif de vivaneau capturé par an et par classe de taille. Les considérations qui détermineront le plan seront la répartition des poissons, préalablement à l'échantillonnage, imposée par les conditions de débarquement, la

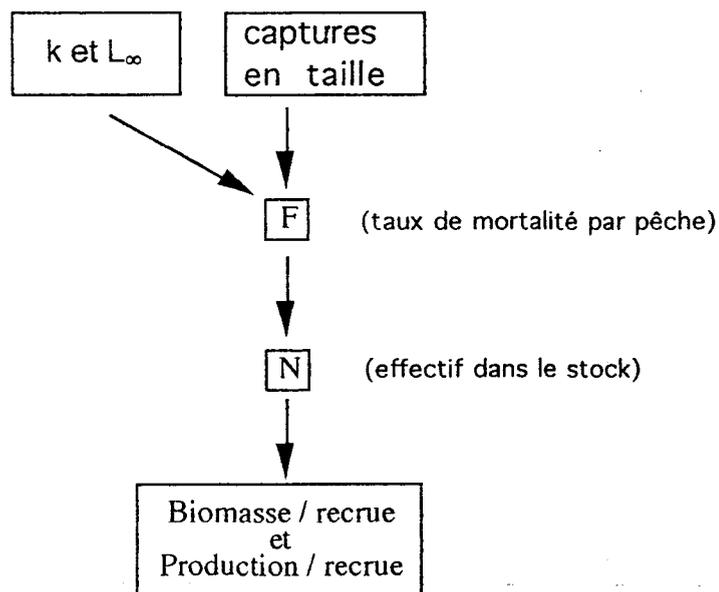
¹ Une "cohorte" est définie par l'ensemble des individus nés à la même saison de ponte sur un même territoire.

² En effet, comme la plupart des espèces de poissons tropicaux, l'interprétation de l'âge à partir des pièces squelettiques (otolithes, écailles,...) est délicate et sujette à caution.

commodité de prélèvement des échantillons, et enfin la simplicité des calculs de l'estimateur et de sa variance.

Muni de la distribution en taille des individus capturés, on estimera, par classe de taille, le taux F de mortalité par pêche et l'abondance N des effectifs vivants dans le stock à l'aide de la technique d'APV appliquée aux classes de longueur. Selon cette procédure, chaque classe de taille est transformée en intervalle de temps à l'aide de l'équation de Von Bertalanffy établie préalablement., qui suppose une relation non bruitée entre la longueur et l'âge des poissons (en réalité la variabilité individuelle de croissance introduit une erreur d'estimation).

Finalement la dynamique de la phase recrutée sera analysée à l'aide du modèle de Thompson et Bell (1934) qui calcule les variations de production par recrue en fonction du taux de mortalité par pêche. La séquence de calcul est schématisée ci-dessous, K et L_{∞} représentant les paramètres de croissance (t_0 est éliminé dans les calculs) :



Les traitements de ces différentes sources d'information aboutiront tout d'abord à une calibration des modèles par un recalage de la valeur des paramètres biologiques via la valeur du coefficient q de capturabilité. Cette validation a posteriori par comparaison des valeurs théoriques et expérimentales montre que le coefficient q est la principale inconnue de la dynamique des populations exploitées. L'analyse de la sensibilité des modèles aux conditions initiales des variables permettra ensuite de hiérarchiser les incertitudes persistantes sur ces variables, et d'orienter les études ultérieures. Enfin, sur un plan pratique, un diagnostic de l'état du stock sera présenté, dans lequel on fera ressortir des règles d'évolution de la population quand varie l'effort de pêche. Auparavant, quatre principaux types de difficultés seront rencontrés :

1) La série historique de captures et d'efforts disponible (1987-1991) est trop courte et la fenêtre d'observations trop étroite pour déterminer à elles seules la production du stock dans des situations diverses de fortes et de faibles exploitations. Cette difficulté est générale à ce type d'étude et fait partie de son enjeu : simuler la production d'un stock lorsqu'on augmente l'effort de pêche sans être obligé de le surexploiter pour le savoir.

2) Les paramètres biologiques par sexe qui sont nécessaires à l'analyse structurale ne peuvent pas être déterminés à terre sur les captures puisque les individus sont débarqués éviscérés et ne présentent pas de dimorphisme sexuel apparent. Pour pallier cet inconvénient et en l'absence de navire océanographique, des sorties en mer seront réalisées à bord des navires professionnels, avec les aléas de planification qu'elles comportent.

3) La structure d'âge de la production n'est pas accessible directement en raison du manque de fiabilité, encore aujourd'hui, de la détermination de l'âge par sclérochronologie (c'est la raison pour laquelle aucune APV sur les âges n'a été encore publiée sur un stock de lutjanidés).

4) La difficulté précédente est contournée en étudiant la dynamique du stock à partir de la structure en taille des captures. Ses handicaps sont qu'elle ignore la variabilité individuelle de croissance, et qu'elle ne prend en compte que les régimes stationnaires dans lesquels l'effort et le recrutement sont constants, alors que les situations de transition sont couramment rencontrées chez les espèces à grande longévité comme le vivaneau rouge. La connaissance de la courbe de croissance est, de plus, requise. L'avancée des évaluations des stocks à partir des méthodes d'analyse des fréquences de taille des captures est probablement un des plus importants développements des sciences des pêches de ces dernières années.

II- CONTEXTE ECOLOGIQUE ET ECONOMIQUE

II- CONTEXTE ECOLOGIQUE ET ECONOMIQUE

II-1. L'ENVIRONNEMENT

II-1.1. Climat et rythme saisonnier des alizés

Le climat est de type équatorial avec de fortes pluies et une température constante. Le régime thermique est uniformément chaud avec une température moyenne annuelle de 26 à 27°C.

La Guyane se trouve dans la zone de passage des perturbations atmosphériques où se bousculent des masses d'air provenant des anticyclones des Açores et de Saint -Hélène (Fig.1). Elle est balayée par des vents de secteur est, alizés boréaux de nord-est et alizés austraux de sud-est, qui se réunissent au voisinage de l'équateur en une Zone Intertropicale de Convergence (ZIC).

La ZIC se déplace de façon saisonnière en latitude. Pendant l'hiver boréal elle est très proche de l'équateur géographique, et les alizés des deux hémisphères y fusionnent en des vents d'est francs, qui engendrent un courant équatorial d'est en ouest. En mai-juin, la ZIC se déplace vers le nord et durant l'été boréal elle est reportée au nord de l'équateur géographique jusque vers 10° de latitude nord, de sorte que les alizés austraux ayant franchi l'équateur géographique sont déviés vers le nord-est par la force de Coriolis et se heurtent aux alizés boréaux.

Cette variabilité du vent est étroitement liée à la variabilité des courants et à celle de la structure hydrologique du plateau continental guyanais.

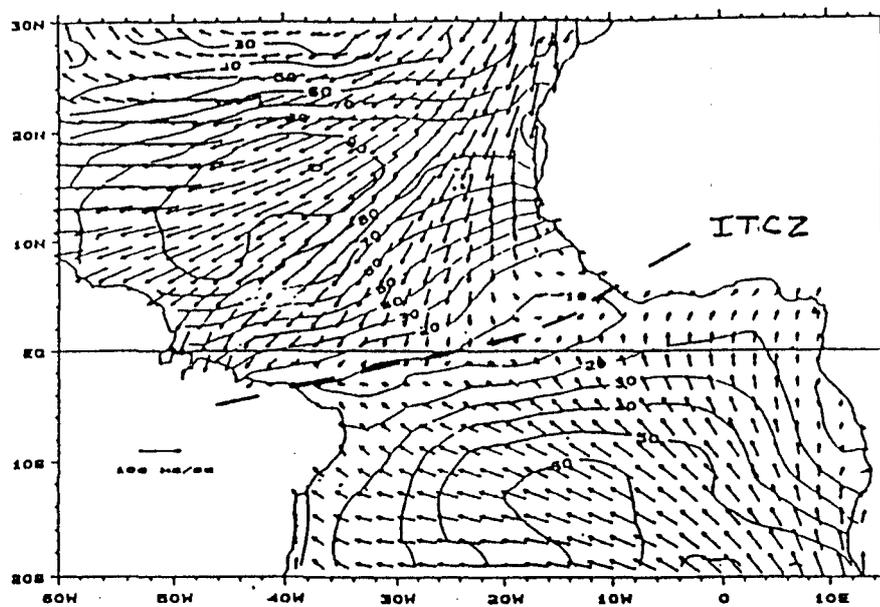
II-1.2. Les eaux marines

Les travaux d'océanographie concernant la région guyanaise, assez nombreux, étaient jusqu'il y a peu de temps incomplets, aucune étude dynamique n'ayant été faite sur le milieu. Récemment, Colin et al. (1990, 1991, 1992) ont entrepris, dans le cadre du programme NOE (1989-1991), l'étude courantologique et hydrologique du plateau continental guyanais.

II-1.2.1. Nature et origine des masses d'eaux

Le secteur côtier jusqu'à une profondeur de 20 m est sous l'influence des eaux douces de l'Amazonie et des fleuves guyanais, repérables par des apports terrigènes qui donnent à l'eau une turbidité élevée. La salinité et la température varient selon la saison respectivement entre 15 et 30 ‰ d'une part et 26 à 30 °C d'autre part (Lemoine et Rose, 1977).

WIND STRESS - APRIL 1989



WIND STRESS - AUGUST 1989

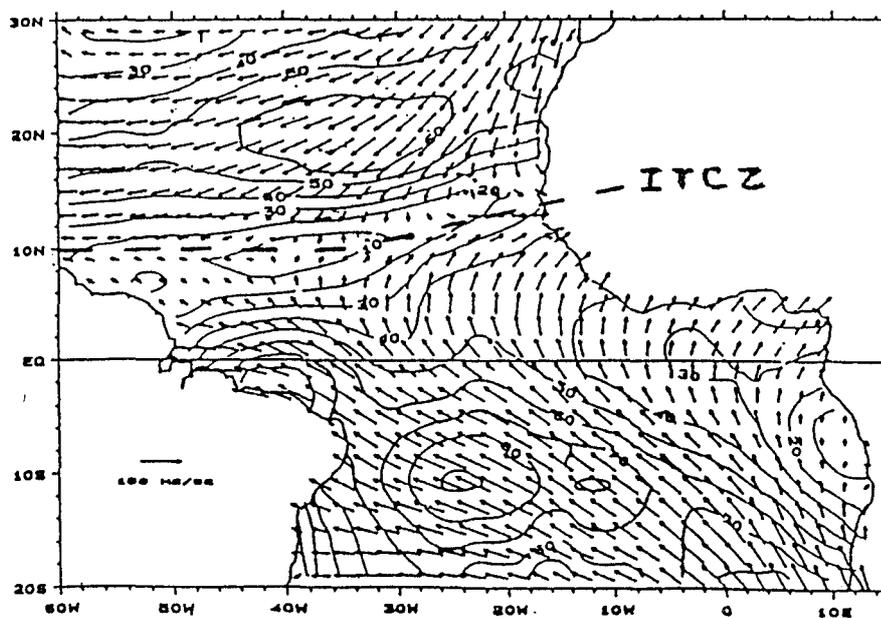


Figure 1 : Distribution horizontale des vents de surface dans la zone intertropicale de l'Océan Atlantique en avril et août 1989. Les lignes en tiret indiquent la position moyenne de la Zone Intertropicale de Convergence, d'après Colin et Bourles (1992).

Au delà, on distingue une couche superficielle d'eau tropicale de 100 à 200 m d'épaisseur, recouvrant donc l'ensemble du plateau continental (Fig.2). Ce sont des eaux provenant de la région du cap Sao Roque au Brésil, qui se sont progressivement dessalées au fur et à mesure de leur progression vers le nord-ouest. La température de surface y varie très faiblement au cours de l'année, entre 26 et 29°C. La salinité évolue entre 20 ‰ en surface à la côte, et 36 ‰ au large en surface et partout en profondeur.

Sous cette couche homogène superficielle, donc entre 100 et 200 mètres de profondeur, se trouve une pycnocline (Fig.2). La limite supérieure de cette zone est matérialisée par l'isotherme de 25-26°C et par une valeur maximale de salinité de l'ordre de 36,4 ‰. En dessous, apparaît une thermocline qui fait descendre la température jusqu'à 11 à 12°C. La profondeur de la thermocline, en prenant pour repère l'isotherme 20°C, évolue entre 100 et 200m selon l'époque de l'année, comme nous allons le voir.

II-1.2.2. Structure verticale et circulation des masses d'eaux

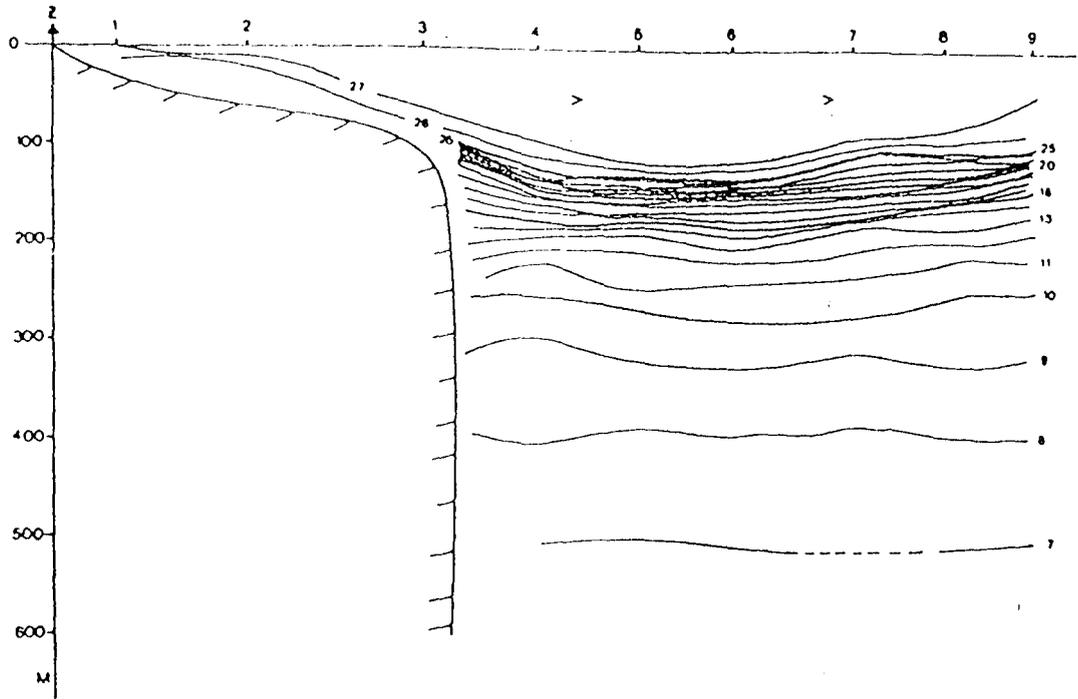
Le Courant des Guyanes (CG) varie en vitesse et en direction selon le lieu et la saison. Sa forte variabilité saisonnière est en liaison avec la distribution des vents du large.

En hiver le CG est fort, avec des vitesses pouvant atteindre 120cm/s en surface, et il se fait sentir jusqu'à 200m de profondeur. Il porte au nord-ouest, ce qui permet aux eaux amazoniennes d'atteindre la mer caraïbe. En été, au contraire, le CG a beaucoup faibli et agit seulement jusqu'à 100m de profondeur. Au niveau du talus continental le courant porte au sud-est entraînant un effet de "rétroflexion" (Colin, 1992), responsable de la présence de lentilles d'eau douce très loin au large, jusqu'à 30°W de longitude.

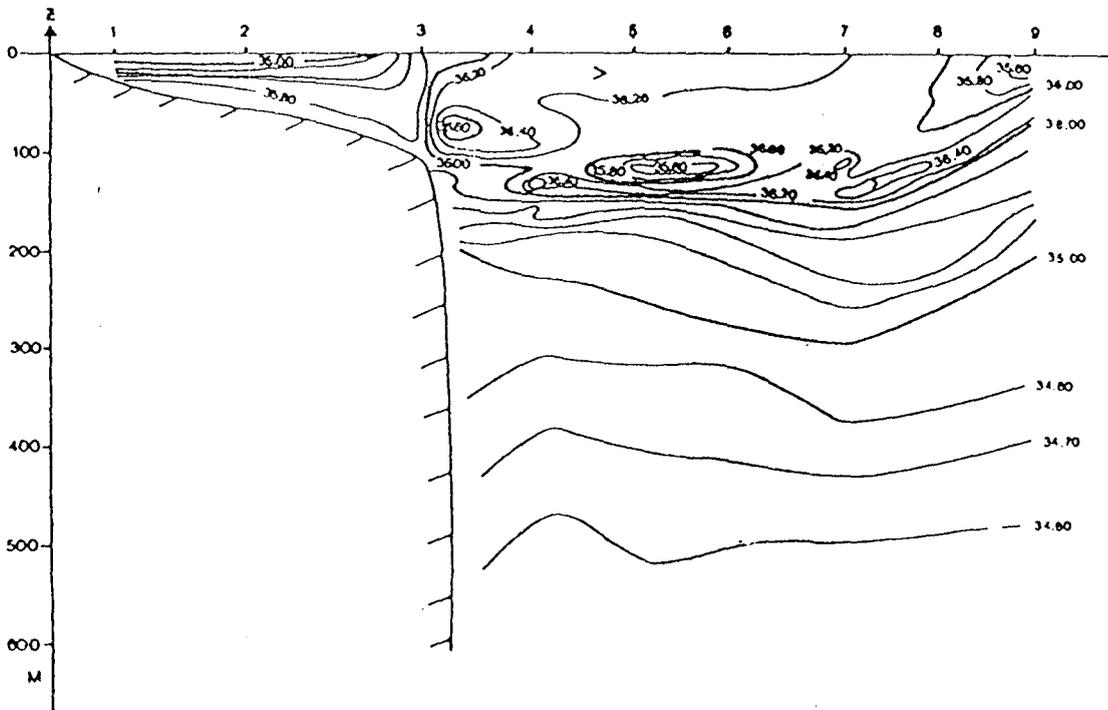
L'isotherme 20°C qui marque la partie centrale de la thermocline, est sous la dépendance de la dynamique du CG. En hiver, l'isotherme est à la profondeur de 100 m, horizontal et légèrement incliné vers le haut. En été, l'isotherme plonge à 200 m de profondeur, et se déplace verticalement dans une direction perpendiculaire à la côte, séparant deux tourbillons anticycloniques, situés respectivement au sud de 5°N et au nord de 8°N (Colin, comm. pers.).

Les faits notables, et qui influenceront le plus la répartition du vivaneau, sont en résumé :

- 1) la présence d'une variabilité saisonnière de la profondeur de la thermocline, avec un minimum (100 m) en hiver boréal et un maximum (200 m) en été. Cette variabilité saisonnière de la thermocline influence sûrement la répartition géographique de la faune du plateau continental en agissant comme une frontière naturelle.



Température (°C)



Salinité (g/l)

Figure 2 : Exemple de profils hydrologiques relevés au cours de la campagne NOE en mai 1989 par Colin et al. (1990). La zone de discontinuité de densité est figurée en sombre.

2) une "rétroflexion" du courant côtier de surface, qui porte au sud-est durant l'été boréal.

II-1.3. Le plateau continental

II-1.3.1. Bathymétrie et topographie

La bathymétrie et la nature des fonds sont décrites dans l'Atlas de Guyane (1979), établi à partir des travaux de Durand (1959) et d'Abbes et al. (1972), repris dans Vendeville (1984), (Fig. 3).

A l'intérieur de la ZEE se situe un vaste plateau continental de 48000km². C'est un plateau monotone qui descend en pente douce (de l'ordre de 0,1%) sur une largeur moyenne de 150 km. Le rebord du plateau est marqué par une rupture de pente à la profondeur de 90m, à partir de laquelle les fonds tombent rapidement à plus de 1000 m.

La surface du plateau consiste en une suite de terrasses en escaliers séparées par des escarpements abrupts, qui sont d'anciennes lignes de rivage. Près de ces ruptures de pente, on trouve des massifs de coquillages concrétisés de 2 à 6m de hauteur servant de supports aux coraux. Le plateau est découpé transversalement par des vallées qui sont la continuation sous-marine du cours des principaux fleuves de Guyane.

Près des accores, entre 85 et 110m de profondeur, on rencontre des affleurements rocheux de 2 à 10m de haut. Signalons enfin la présence, au delà des accores et à la perpendiculaire de Sinnamary, d'un haut fond culminant à 75m au dessous de la surface qui correspond à un compartiment isolé du plateau.

II-1.3.2. La couverture sédimentaire

La couverture sédimentaire se divise en trois ensembles parallèles à la côte (Fig. 3). Une bande littorale constituée de vase d'origine amazonienne s'étend jusqu'aux fonds de 20m. Puis une bande de sable fin occupe la plus grande partie du plateau continental entre 20 et 50m. Enfin, au delà des 50m, le substrat est constitué de sable grossier interrompu par quelques zones rocheuses.

L'envasement très important de la zone côtière lui donne l'aspect d'un estuaire continu qui s'étendrait de l'embouchure de l'Amazone à celui de l'Orénoque. D'après Prost (1990), la quantité de vase déversée par l'Amazone est estimée, à 10⁹ tonnes/an et se déplace à la vitesse de 800m/an en hiver, 100m/an en été.

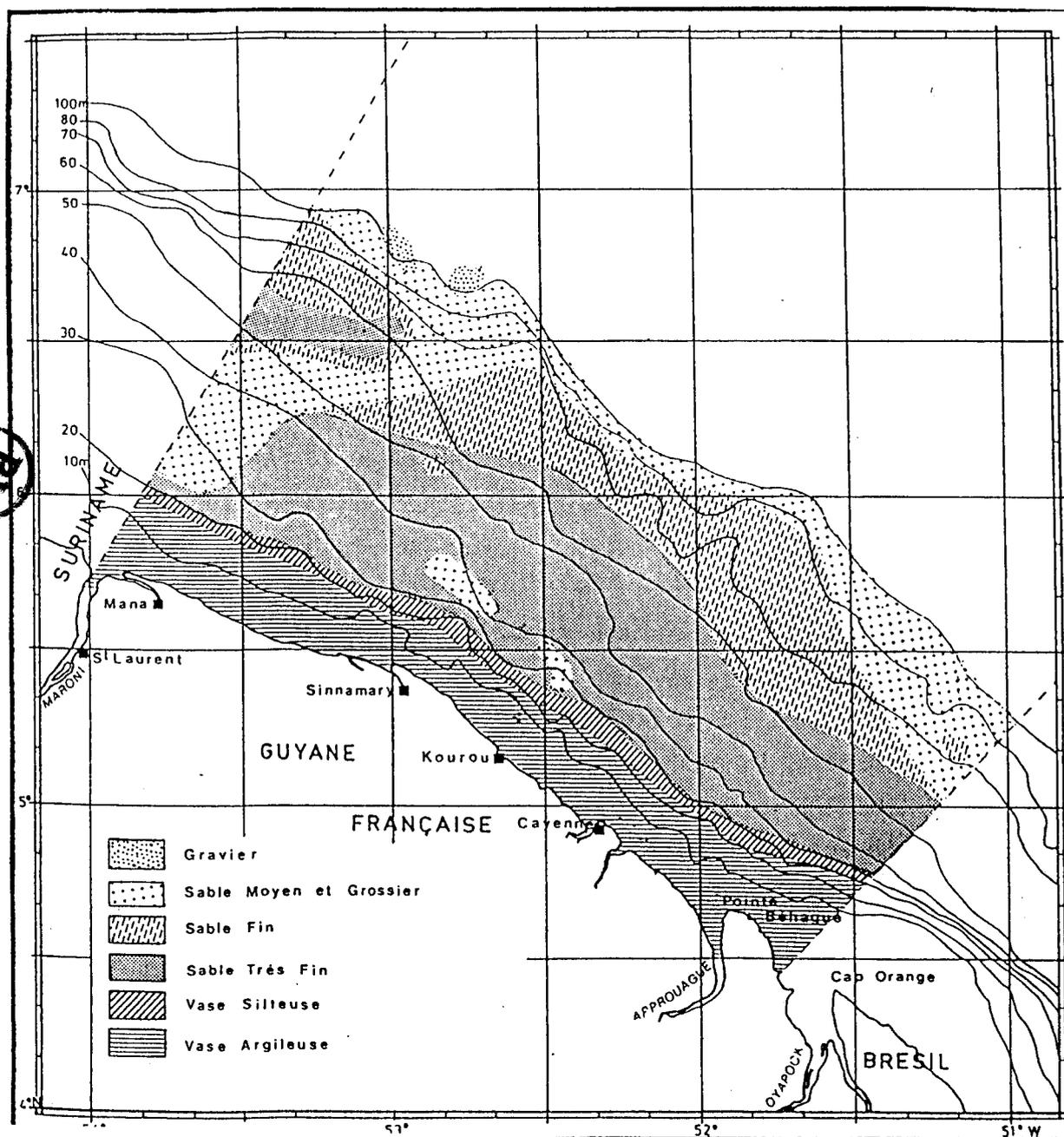


Figure 3 : Couverture sédimentaire du plateau continental guyanais, d'après Vendeville (1984).

II-2. LA PÊCHE EN GUYANE

II-2.1. Description et rôle économique

La pêche occupe une place importante dans l'économie guyanaise : elle constitue l'une des premières activités et représente 60% des recettes d'exportation, principalement par l'exploitation de la crevette et du vivaneau. Peu connu, le port du Larivot est le cinquième port de pêche national en valeur, avec un chiffre d'affaires proche de 300 millions de francs.

Au total la flottille se compose de 223 bateaux de pêche dont 71 chalutiers, 12 "tapouilles" (barques pontées typiques de la région amazonienne), 100 pirogues et 40 ligneurs vénézuéliens. Ce secteur emploie 1150 marins et, directement ou indirectement, 350 personnes à terre, ce qui représente 4% de la population active de la Guyane. On reconnaît facilement 3 types d'activités ou métiers : la pêche côtière, la pêche crevette et la pêche des vivaneaux.

II-2.2. La pêche côtière¹

La pêche côtière exploite la bande littorale qui va de la côte jusqu'à la profondeur de 10m. Deux types d'embarcations sont employés : les "tapouilles" et les pirogues, récemment décrites par Bellail (1992). Les filets constituent l'unique moyen de capture. Les principales espèces pêchées appartiennent aux groupes taxonomiques des acoupas (Scianidae), silures (Ariidae), croupia (Lobotidae), loubines (Centropomidae), mérour (Serranidés), raies et requins (Sélaciens).

Compte tenu des difficultés rencontrées par l'administration pour contrôler les débarquements étalés sur l'ensemble du littoral, le volume annuel des prises de poissons demeure approximatif. Il est estimé à 2000 t, pour une valeur marchande de 30 MF.

L'essentiel des produits est destiné au marché local. La commercialisation s'effectue, soit en vente directe de poissons frais, soit par le biais de revendeurs sur les principaux marchés du département à Cayenne, Kourou ou Saint-Laurent-du-Maroni. La coopérative des pêcheurs guyanais (Codepeg) et les sociétés Abchee et Somon participent à la transformation d'une partie des prises de la pêche artisanale.

¹ On trouvera dans le mémoire de Desse (1986) une description de cette activité plus complète que cette simple présentation.

II-2.3. La pêche des crevettes pénéides

La flottille est composée de 71 crevettiers. Ce sont des chalutiers de type floridien de 21 à 23 m de longueur, d'une puissance de 300 à 465 cv et armés par 4 ou 5 hommes. La plupart de ces navires sont construits dans des chantiers américains.

Deux espèces du plateau continental constituent l'essentiel des prises : Peneus subtilis et Peneus brasiliensis. Depuis 1988 quelques navires exploitent, en plus des deux espèces du talus continental, Plesiopeneus edwardsianus et Solenocera acuminata.

Le chiffre d'affaires annuel est estimé à 260 millions de francs (dont 40 à 50 % de valeur ajoutée) pour une production de 4000 tonnes. L'ensemble est destiné à l'exportation vers le Japon, les Etats-Unis et la CEE.

La pêcherie a connu au cours de ses trente années d'existence trois périodes bien marquées (Dintheer et al., 1989) :

- 1) une période de découverte et d'expansion, de 1959 à 1977.
- 2) une période de transition, de 1977 à 1983, où, après la création de la ZEE guyanaise, s'est mise en place une politique de gestion des ressources. Chaque année sont fixés, pour les crevettiers guyanais, un quota global de capture et, pour les crevettiers étrangers, un nombre maximal de licences.
- 3) une période de francisation, de 1983 à 1990, où les flottilles américaine et japonaise ont été progressivement remplacées par des armements locaux. Cette politique a permis d'accroître la part locale de valeur ajoutée se dégageant de cette activité.

Depuis 1990, la filière est confrontée à de graves problèmes d'exportation dus à la baisse des cours mondiaux des crevettes de petite taille. Elle est provoquée par l'arrivée massive de crevettes d'aquaculture en provenance d'Asie du sud-est et d'Amérique du sud. Cette crise place la majeure partie des armements dans une situation difficile. Une restructuration globale de la filière est prévisible dans les années à venir, tant en mer qu'à terre.

En ce qui concerne la transformation des crevettes, certains armements effectuent cette opération en mer. Les autres utilisent les services à terre des deux usines CFP et PIDEG.

II-2.4. La pêche du vivaneau rouge

II-2.4.1. La phase d'expansion : 1980-1990

La pêche du vivaneau rouge est une activité traditionnelle des pêcheurs vénézuéliens au large des Guyanes et du Brésil. D'après Fourmanoir (1968), les débarquements à Cayenne étaient en 1966 de l'ordre de 200t. La flottille se composait alors d'une dizaine de bateaux.

Son évolution au cours des vingt dernières années (Tab.1) a été marquée par le passage d'un régime de libre accès à la ressource, à un régime de limitation suite à l'instauration des ZEE.

La création de la ZEE française, qui date de 1977, a entraîné en 1978 et 1979 le départ momentané des ligneurs vers d'autres zones de pêche en attendant que la nouvelle réglementation se mette en place. Elle spécifie que tout bateau étranger opérant à l'intérieur de la ZEE devra être en possession d'une licence de pêche. Son application a été effective à partir de 1980.

Depuis 1980 on assiste à une augmentation continue de la capture et de l'effort de pêche pour atteindre, en 1991, 43 ligneurs en activité et 1000 tonnes, dont 82% sont débarqués à Cayenne.

Année	Production (tonnes)	Effort (nombre de ligneurs)
1976	133	—
1977	186	—
1978	46	—
1979	47	—
1980	45	5
1981	87	5
1982	94	7
1983	255	6
1984	302	10
1985	362	22
1986	514	26
1987	558	29
1988	805	27
1989	993	39
1990	925	39
1991	816	43

Tableau 1 : Evolution annuelle de la production de vivaneau rouge débarquée à Cayenne et de l'effectif des ligneurs vénézuéliens. sources : 1976-1984 IEDOM ; 1985-1991 IFREMER

II-2.4.2. Description de la flottille et des méthodes de pêche

A) Description de la flottille

Le nombre de marins embarqués par navire varie de 11 à 17. Il est en moyenne de 13,7. La longueur est en moyenne de 16,6m. Elle varie entre 14 et 19 m, à l'exception de deux navires de 23 et 24m. La puissance motrice est en moyenne de 187,7 kw. Elle varie de 100 à 300 kw. La jauge brute est de 47,8 t en moyenne et varie de 25 à 126 t.

En 1991, 42 navires ont travaillé dans la ZEE guyanaise. Leurs caractéristiques ne semblent pas avoir changé depuis une trentaine d'années. Les navires sont construits en bois et disposent de cales à glace pour conserver le poisson. Tous sont attachés aux différents ports de l'île de Margaritas au Vénézuéla. L'équipement de passerelle est réduit à un compas, une radio VHF de courte portée et généralement 2 sondeurs. Ces navires sont peu mécanisés et demandent une main d'oeuvre abondante.

B) Les lignes à main

Il s'agit de lignes en fil de fer galvanisé lestées par un plomb de 0,5 à 1,5kg. Le bas de ligne, de 10 à 15 m, est en fibre synthétique et porte 5 à 6 avançons de 2 m environ, muni chacun d'un hameçon. Les lignes sont appâtées avec des sardines salées ou des morceaux de vivaneaux frais.

C) La méthode de pêche

Les vivaneaux se rassemblent en bancs et les pêcheurs prennent en compte ce comportement grégaire. Ils partagent leur activité en mer en un temps de recherche et un temps de capture, estimés chacun à 50 %.

La pêche se déroule uniquement de jour, de 6h à 18h en général. Dès qu'un banc est détecté au sondeur une bouée est mise à l'eau. Elle sert de repère visuel au patron qui revient périodiquement se placer à l'aplomb du banc. La coopération entre bateaux est bien établie : plusieurs bateaux pêchent en général sur un banc découvert par l'un d'eux. Les lignes sont mises à l'eau tandis que le bateau dérive. Au bout de quelques minutes les lignes sont remontées et le bateau effectue un retour vers la bouée pour une remise en pêche. Les forts courants de la région sont une gêne constante pour les pêcheurs.

II-2.4.3. Composition spécifique des captures

La capture est presque monospécifique, constituée en 1989 à 98.5% de vivaneau rouge Lutjanus purpureus. Les autres espèces de lutjanidés capturées sont, par ordre d'abondance, le vivaneau ti-yeux (Rhomboplites aurorubens), le vivaneau rayé (Lutjanus synagris) et plus rarement le vivaneau chien (Lutjanus jocu).

Les prises accessoires sont essentiellement constituées de thasards (Scomberomus spp.) qui font l'objet d'une pêche saisonnière en mai et juin, de mérus (Epinephelus spp. et Mycteroperca spp.) et de requins.

II-2.4.4. Organisation à terre et analyse économique

Dans le but de développer l'activité de pêche en Guyane, les licences ne sont délivrées qu'aux navires ayant passé un contrat de vente avec une entreprise locale, auprès de laquelle ils doivent débarquer au moins 75% de leur capture annuelle- ce qui leur laisse la possibilité de rentrer périodiquement au Vénézuéla les cales pleines de poisson. Le poisson n'est pas vendu aux enchères mais au prix convenu entre le patron pêcheur et le transformateur : en 1989, il était de 12,50F le kilogramme. De plus, chaque transformateur offre une prime au patron le plus performant. Trois unités de transformation achètent le vivaneau débarqué : Abchee, Pideg, Codepeg.

Au débarquement, la capture d'un bateau est pesée puis congelée en vrac. Une fois congelés les poissons sont triés en 4 ou 5 catégories de taille, enveloppés dans des sachets en plastique puis rangés dans des boîtes en carton de 25 kg. Les plus gros poissons sont préalablement découpés en darnes.

Ces dernières années le facteur limitant de la production est resté la capacité d'absorption des transformateurs.

Un bilan économique de l'activité à terre a été réalisé par Le Goff (1990) Nous allons en résumer les principaux résultats. La filière est décomposée en quatre agents productifs (Fig.4) :

- 1) les navires vénézuéliens assurent la production de matière première. Puisque le poisson conserve la nationalité du pavillon qui l'a pêché, la production de vivaneau rouge est considérée comme une importation pour la Guyane.
- 2) Les fournisseurs apportent aux transformateurs les biens et services dont ils ont besoin. Les emballages sont importés des Etats-Unis. Le matériel d'usine provient de la France métropolitaine. Les autres biens et services nécessaires à la marche des usines sont produits dans le département.

3) Les transformateurs eux-mêmes assurent la transformation et la commercialisation auprès des grossistes. La totalité de la production est traitée par trois sociétés.

4) Les distributeurs commercialisent la production auprès des consommateurs. La fraction consommée localement est faible (5%). Le reste est commercialisé sur le marché des Antilles (80%) et la France métropolitaine (15%), en exportant par voie maritime des conteneurs de vivaneaux congelés.

Le bilan économique de ces agents a été obtenu sur les données de l'année 1989. La méthode utilisée par l'auteur est la Méthode Simplifiée des Effets, qui évalue la création de valeur ajoutée et détermine son impact sur l'économie générale du département. La valeur ajoutée se compose de salaires, d'impôts, de taxes et charges sociales, d'intérêts financiers et du revenu brut des entreprises. Les résultats, présentés dans la figure 5 appellent les commentaires suivants :

1) le chiffre d'affaires réalisé par les ligneurs vénézuéliens (14MF) comprend la valeur de la production débarquée en Guyane et une évaluation des débarquements effectués au Vénézuéla égale à 25% de la production précédente. Le taux de valeur ajoutée est de 82%, supérieur à celui de la pêche artisanale française qui varie entre 60 et 70% selon le métier pratiqué.

2) ce sont les usines de transformation qui créent la valeur ajoutée directe (8MF) de la filière vivaneau en Guyane, répartie essentiellement sous forme de salaires. Le taux de valeur ajoutée est d'environ 35%, ce qui est supérieur au taux de référence généralement admis (25 à 35%). Cette différence s'explique par un faible prix d'achat de la matière première et un prix de vente soutenu grâce à un marché antillais porteur.

3) les fournisseurs des usines de transformation constituent un groupe très diversifié du point de vue de leur activité. Il convient de distinguer les consommations intermédiaires locales (2,3MF) des consommations intermédiaires importées (1,4MF). La valeur ajoutée est estimée à 38%.

4) le chiffre d'affaire des distributeurs est de 34MF. Son taux de valeur ajoutée (20%) est identique à celui des entreprises agro-alimentaires.

Au bilan, la production totale de la filière vivaneau est estimée à 72MF. Elle entraîne la création d'un taux de valeur ajoutée de 38% qui rémunère essentiellement deux agents économiques, les ménages par les salaires et les entreprises .

La valeur ajoutée créée au sein des entreprises guyanaises, environ 8MF, confère à la filière vivaneau un rôle primordial dans le secteur des pêches maritimes du département.

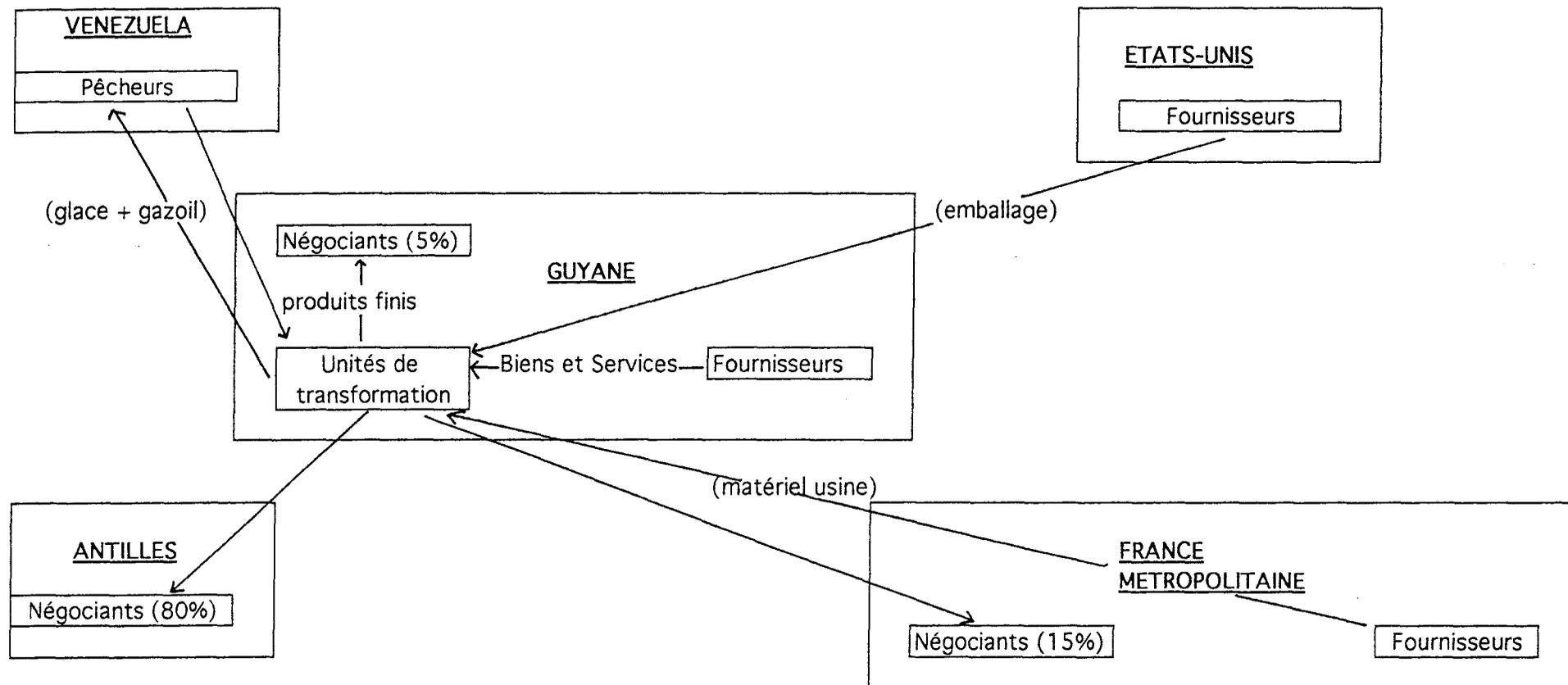


FIGURE 4 : SCHEMA DES ECHANGES ENTRE LES PRINCIPAUX AGENTS ECONOMIQUES DE LA FILIERE "VIVANEAU ROUGE"
d'après Le Goff (1990)

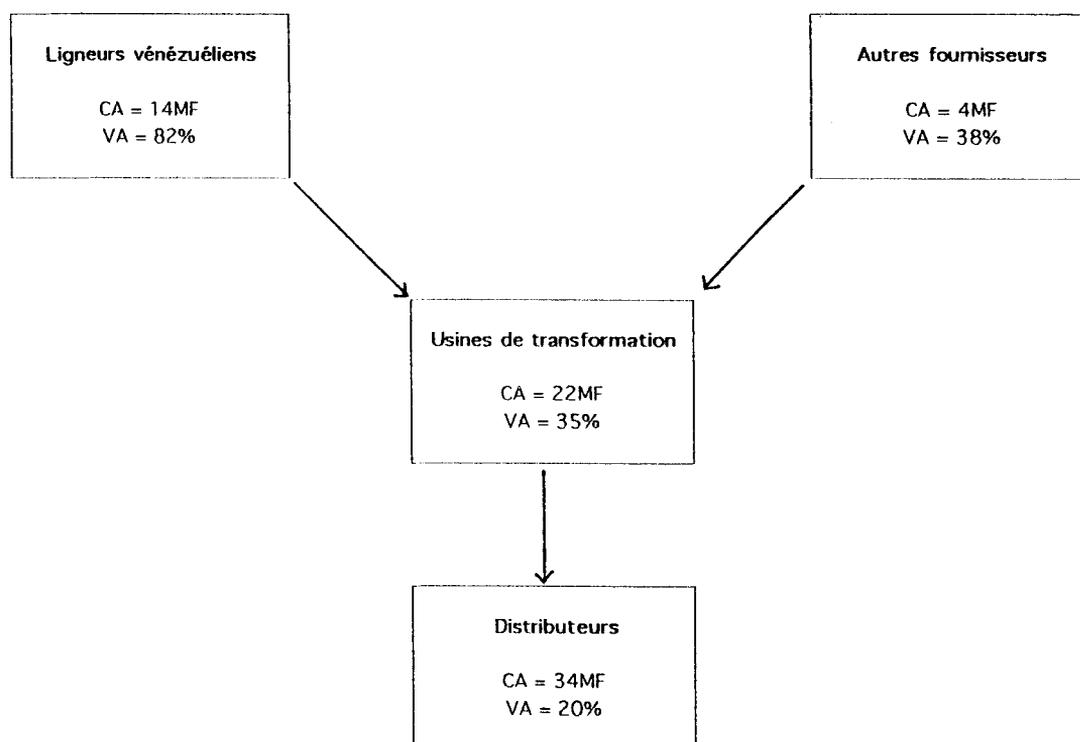


FIGURE 5 : CHIFFRES D'AFFAIRES (CA) et VALEURS AJOUTÉES (VA) DES AGENTS ÉCONOMIQUES DE LA FILIÈRE "VIVANEAU ROUGE", d'après Le Goff (1990)

II-3. COMPARAISON AVEC D'AUTRES REGIONS OÙ LES MÊMES ESPECES DE VIVANEUX EXISTENT

Les vivaneaux et les mérours représentent une ressource de grand intérêt dans les pêcheries des milieux récifaux de la ceinture intertropicale. Si les problèmes de gestion de ces pêcheries sont spécifiques à chaque pays, en revanche les problèmes biologiques et écologiques ont une nature internationale, qui est d'autant plus accentuée que beaucoup d'espèces ont une large distribution géographique. C'est le cas du vivaneau rouge de la côte nord-est d'Amérique du sud qui ressemble au vivaneau campèche du golfe du Mexique, au point que pendant longtemps elles ont été considérées comme une seule et même espèce. Les connaissances accumulées sur le vivaneau campèche et sur les statistiques de son exploitation dans le golfe du Mexique, qui datent de plus d'un siècle, en font une pêcherie intéressante d'un point de vue scientifique pour des études comparatives et pour estimer éventuellement les paramètres manquants à la compréhension de la dynamique du stock de vivaneau rouge de Guyane.

Ce chapitre présente brièvement une répartition mondiale de la capture annuelle de lutjanidés, et quelques informations sur les pêches de vivaneaux du golfe du Mexique, du plateau des Guyanes et du Brésil.

II-3.1. La production mondiale de lutjanidés

La production mondiale de lutjanidés atteint, en 1987 selon la FAO, 166 kt, ce qui la place parmi les familles à faibles apports. Cependant, la nature diffuse et peu structurée de son exploitation, de type artisanal et traditionnel, fait que le volume des captures recensées est probablement sous évalué par rapport à la réalité.

La figure 6 montre la répartition mondiale de la capture annuelle de lutjanidés dans les principales zones de pêche de la FAO. 56 % des apports totaux de l'année 1987 (soit 93 kt) proviennent de la région du sud-est asiatique qui occupe de loin la première place. L'Indonésie vient en tête des pays producteurs de cette zone avec 49 kt suivi par les Philippines (36 kt) et la Malaisie (8 kt).

La zone des Caraïbes représente le deuxième centre producteur avec 19 % des captures mondiales, soit 31 kt. Au sein de cette région le Mexique est le plus gros producteur avec 14 kt suivi du Vénézuéla (6 kt), de Cuba (5 kt) et des USA (4 kt).

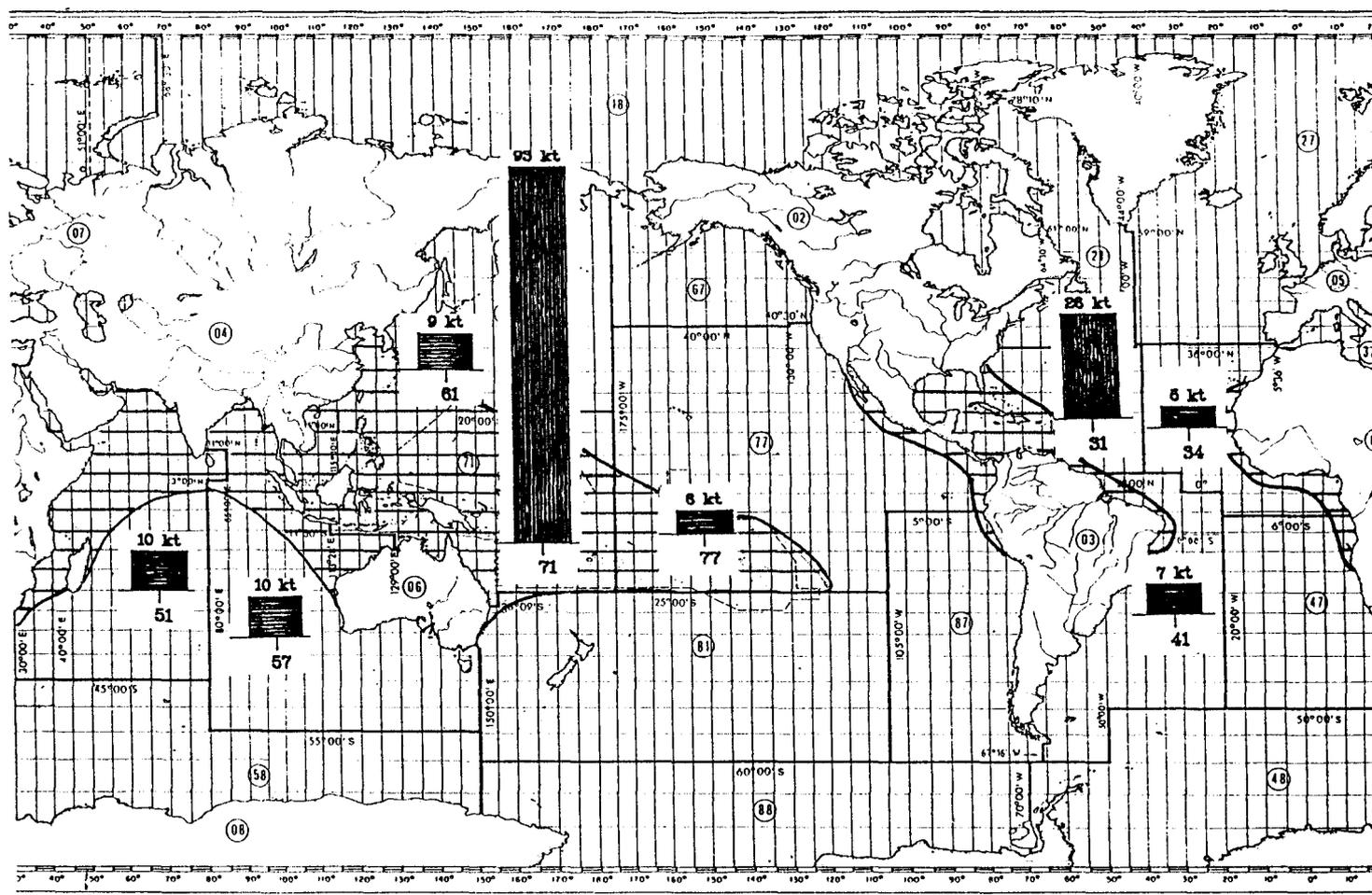


Figure 6 : Répartition mondiale de la capture annuelle (1987) des lutjanidés dans les principales zones de pêche de la FAO.



II-3.2. La pêche américaine du golfe du Mexique

Une flottille de ligneurs pêchent les vivaneaux et mérus des fonds récifaux du golfe du Mexique. Les bateaux sont équipés de vires-lignes automatiques. L'espèce la plus abondante est le vivaneau campêche. Le secteur le plus productif est le banc Campêche situé au large de la péninsule du Yucatan. Traditionnellement exploité par la flottille de Floride, ce secteur de pêche a été interdit aux flottilles étrangères lors de la création de la ZEE mexicaine.

Un des intérêts scientifiques de cette exploitation est que la série historique de captures remonte à un siècle. Les variations de capture annuelle de vivaneau campêche reflètent un écosystème relativement stable. Elles suivent les variations de l'effort de pêche, elles mêmes conditionnées par la conjoncture économique : l'expansion de la pêche se déroule entre 1880 et 1902. La production se stabilise ensuite aux environs de 3800 t jusqu'en 1928. La récession économique de 1929-1935 entraîne une baisse de la production jusqu'à 1800t. La capture augmente entre 1936 et 1939 puis décline à nouveau pendant la deuxième guerre mondiale. Après cette période, une reprise de l'activité de pêche est enregistrée. La flottille passe de 180 unités (780 pêcheurs) en 1957-1960 à 290 unités (1200 pêcheurs) en 1961-1965 et à 320 (1100 pêcheurs) en 1971-1974. Malgré l'augmentation de l'effort, les captures annuelles baissent régulièrement depuis 1960 pour atteindre moins de 1000t en 1985, mettant en évidence un état de surexploitation de la ressource.

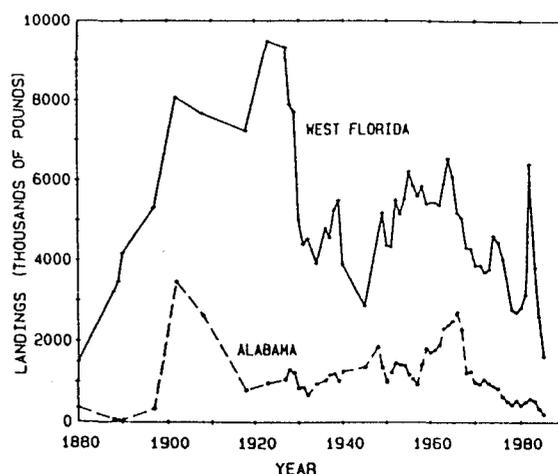
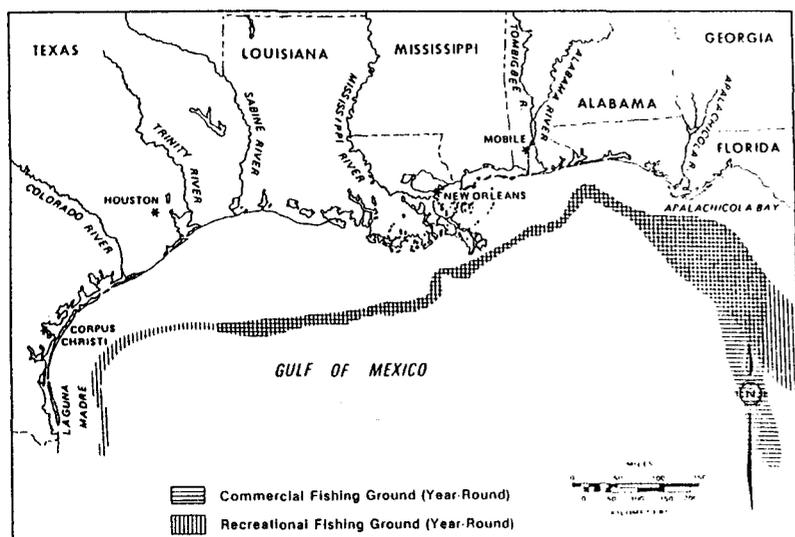


Figure 7 : Evolution annuelle de la production de vivaneau campêche de la Floride (à droite), et localisation de la zone de pêche (à gauche), d'après Moran (1988).

II-3.3. La pêche vénézuélienne du plateau des Guyanes

Au Vénézuéla, la pêche des vivaneaux et mérours a pris un rôle socio-économique important au cours de la dernière décennie, devenant une activité économique rentable pour un grand nombre de personnes (Gonzales, 1990). En effet, à la suite de la dévaluation du bolivar, en 1983, le Vénézuéla s'est mis à exporter de plus en plus ses produits de pêche. En retour, cet essor a permis de réactiver la construction des navires destinés à la pêche côtière comme à la pêche au large. Un intérêt particulier est apparu pour les espèces à haute valeur marchande comme les vivaneaux et mérours dont la commercialisation est orientée vers l'exportation.

La flottille, évaluée à 808 bateaux en 1988, est localisée à 87 % dans la région orientale, principalement dans l'île de Margaritas (65 %). La majeure partie de sa production est destinée à l'exportation vers les Antilles, les USA et l'Europe. Elle est estimée à 17 kt dont 11,5 kt de vivaneaux et 3,8 kt de mérours. Cette flottille se subdivise, selon l'activité pratiquée, en trois catégories. En dehors d'une flottille de transbordement (31 navires et 248 marins) qui s'est spécialisée dans le transport des captures entre les lieux de pêche et les ports, on distingue la flottille du large qui exploite à elle seule les ressources du plateau continental des Guyanes et la flottille côtière qui opère dans la mer des Caraïbes, depuis Caracas jusqu'à Trinidad et Tobago.

La flottille côtière est composée de 450 embarcations de 7 à 12 m (2250 pêcheurs). Elle débarque, en 1988, 3,6 kt de mérours, 3,4 kt de vivaneau rouge et 460 t de divers autres espèces. Les campagnes de pêche durent en général 5 à 7 jours. Les engins utilisés sont surtout des lignes à main, mais aussi quelque fois des palangres de fond et des nasses.

La flottille du large comporte 327 barques (3924 pêcheurs) de 12 à 24 m de longueur. Sa capture est estimée, toujours en 1988, à 8,1 kt de vivaneau rouge et 220 t de mérours. Les navires réalisent en moyenne trois campagnes par an d'une durée de 90 jours chacune. Le seul engin utilisé est la ligne à main.

Une centaine de navires exploitent le plateau continental surinamien. Sa production annuelle est inconnue. D'après les pêcheurs eux-mêmes, c'est la zone la plus riche en vivaneau rouge de l'ensemble du plateau des Guyanes, à cause de l'étendue de l'habitat favorable à cette espèce. En utilisant la PME par unité de surface du stock de vivaneau campêche du golfe du Mexique, Charlier (1989) estime en première approximation que la PME du stock de vivaneau rouge du plateau surinamien serait comprise entre 3000 et 6000 t.

La production provenant de la ZEE du Guyana est inconnue.

II-3.4. La pêche brésilienne de la côte nord-est

Le vivaneau rouge fait partie des principales ressources des pêches brésiliennes. Son exploitation a débuté en 1961. Depuis, la capture et l'effort n'ont pas cessé de croître. La capture maximale est atteinte en 1977 avec 7500 t, puis la production baisse pour osciller aux environs de 5000 t.

La zone de pêche est localisée au large des côtes nord et nord-est du Brésil. Les vivaneaux sont capturés à l'aide de lignes montées sur des vires-lignes. La longueur des bateaux varie entre 17 et 30 m. L'équipage est composé de 10 à 30 marins selon les embarcations. Les campagnes de pêche durent entre 20 et 50 jours. L'état de Ceara avec le port de Fortaleza est le principal producteur du Brésil. En 1987, ce port abritait de l'ordre de 700 navires, toutes pêches confondues. La majorité des captures est exportée vers les USA et l'Europe.

Un groupe national d'étude a conduit en 1983 une évaluation des potentialités de production de ce stock à l'aide d'un modèle global. Il estime la PME à 6300 t, conclue à un état de surexploitation et recommande une réduction de l'effort de pêche.

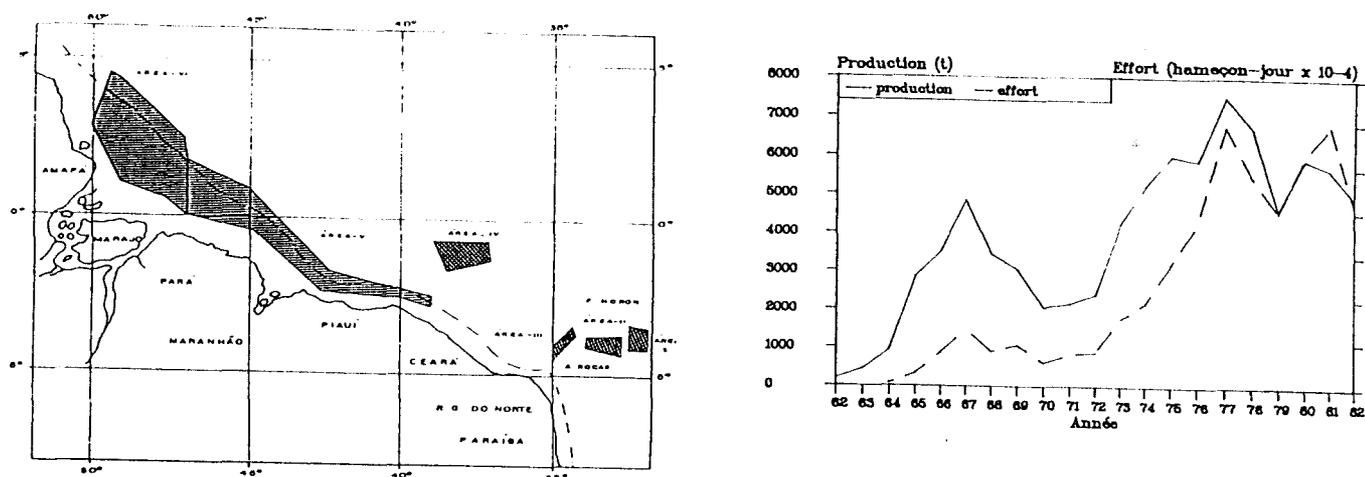


Figure 8 : Evolution annuelle de la production de vivaneau rouge du Brésil (à droite), et localisation de la zone de pêche (à gauche), d'après Anon (1983).

II-4. LA POPULATION DE VIVANEAU ROUGE DES CÔTES NORD-EST D'AMERIQUE DU SUD

II-4.1. Situation taxonomique et répartition géographique

Famille des Lutjanidae (17 genres et 103 espèces. Répartition circumtropicale)

Sous-Famille des Lutjaninae

Genre Lutjanus (65 espèces dont 14 présentes dans l'ouest-Atlantique)

Le "vivaneau rouge" était une espèce connue dans la littérature sous le nom de Lutjanus aya (Bloch, 1790). Mais, depuis la mise au point taxonomique de Rivas (1966) on reconnaît deux espèces de vivaneau rouge :

- Lutjanus campechanus Poey (1867) présent près des côtes atlantiques du sud des Etats-unis et dans le golfe du Mexique.
- Lutjanus purpureus Poey (1860) distribué depuis Cuba jusqu'aux côtes nord-est du Brésil.

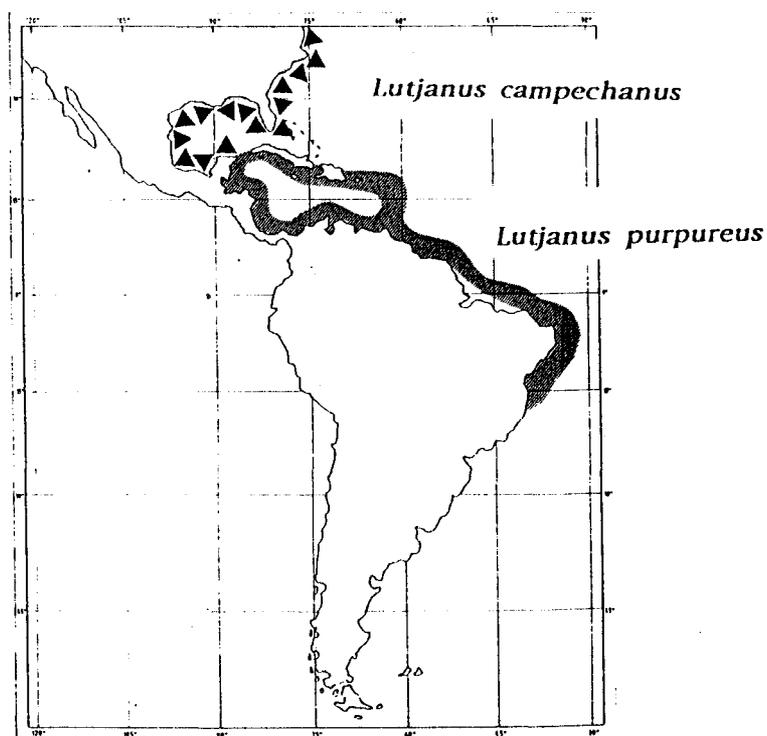


Figure 9 : Répartition géographique des deux espèces de vivaneau rouge, d'après Allen (1985).

	<u>Lutjanus purpureus</u>	<u>Lutjanus campechanus</u>
Nom FAO	Fr vivaneau rouge Ang southern red snapper Esp pargo colorado	Fr vivaneau campêche Ang northern red snapper Esp pargo del golfo
Nom local	Brésil pargo Vénézuéla pargo colorado Martinique rouge	Mexique guachinango del golfo Cuba pargo colorado

Tab. 2 : Principaux noms des deux espèces de vivaneau rouge, d'après Allen (1985)

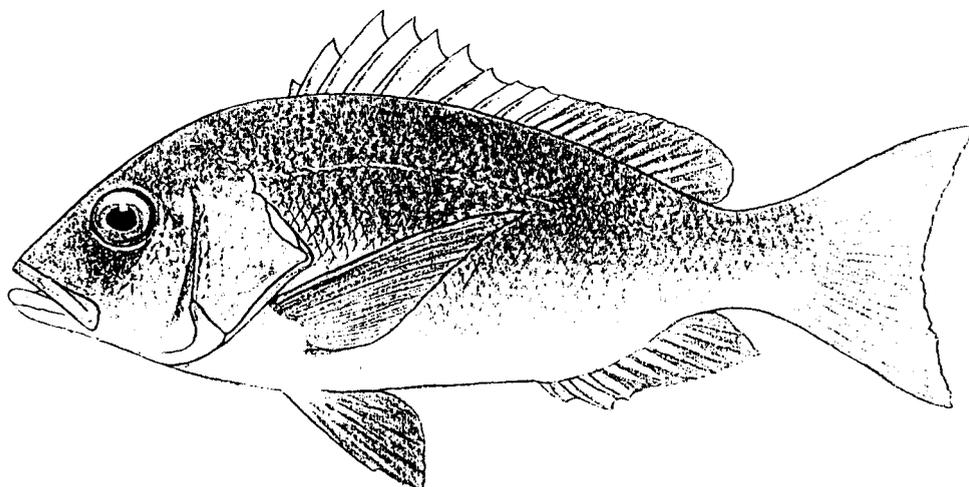


Figure 10: Dessin de Lutjanus purpureus, d'après Allen (1985).

II-4.2. Habitat et écologie trophique des lutjanidés

Le vivaneau rouge est une espèce démersale des zones rocheuses et récifs coralliens. Elle se rencontre entre 30 et 160m de profondeur, mais fréquente de préférence les fonds sous-marins compris entre 70 et 120m.

Du point de vue trophique, les espèces de lutjanidés sont qualifiées de carnivores opportunistes par Parrish (1987). Elles consomment une grande variété de proies comme le montre le tableau 3 :

Groupes alimentaires	%d'occurrence
poissons	90
crabes	56
crevettes	30
crustacés divers	32
autres espèces benthiques	13
céphalopodes	10
plancton	17

Tableau 3 : principales proies ingérées par les espèces de lutjanidés, d'après Parrish (1987).

Les espèces adaptent leur comportement à l'optimisation de deux types d'alimentation, les proies benthiques et les proies pélagiques.

Les vivaneaux ingurgitent une grande variété de poissons récifaux, dont leurs propres jeunes : le cannibalisme est bien établi. Crabes et crevettes forment l'autre grand groupe de proies benthiques. Le vivaneau rouge, comme d'autres espèces, s'éloigne souvent de son abri naturel pour rechercher en pleine eau des proies abondantes comme les clupéidés et les engraulidés. Dans ce cas le vivaneau rouge deviendrait plus actif le jour que la nuit.

Les vivaneaux sont à leur tour les proies des dauphins et des requins, au point que les pêcheurs sont souvent dérangés dans leur activité par la concurrence directe de ces prédateurs.

II-4.3. Croissance, longévité et stratégie démographique des lutjanidés

Les lutjanidés ont une longévité élevée, une croissance lente et une mortalité naturelle basse. L'âge maximal moyen est de 10,5 ans et le coefficient moyen de croissance K relatif à l'équation de Von Bertalanffy est de 0,20 par an d'après Manooch (1987).

Ces espèces présentent les traits démographiques des populations ayant une stratégie de type K par opposition au type r (Mac Arthur et Wilson, in Barbault, 1981) : ce sont des populations vivant habituellement dans un environnement plutôt stable, et qui

présentent une mortalité dépendante de la densité, une compétition inter et intra-spécifique intense et une taille de la population stationnaire.

II-4.4. Reproduction des lutjanidés

Chez les lutjanidés les sexes sont séparés et les individus ne présentent pas de dimorphisme sexuel visible.

L'apparition de la première maturité sexuelle est tardive. Elle varie selon les espèces et les conditions de milieu entre 23% et 84% de la longueur maximale (Grimes, 1987). Chez le vivaneau rouge, elle varie selon les auteurs de 48 % à 59 %.

La ponte du vivaneau rouge a lieu au large au niveau de la pente continentale. Elle est fractionnée et dure toute la saison. Il y aurait, selon Grimes (1987) deux types de saison de ponte chez les lutjanidés :

- une ponte restreinte autour de l'été pour les espèces continentales
- une ponte continue avec un maximum d'activité reproductrice au printemps et à l'automne pour les espèces insulaires.

Ces stratégies reproductrices répondent selon Cushing (1975), Lambert et Ware (1989) aux majeurs problèmes auxquels doivent faire face leurs larves, qui sont de trouver de la nourriture et d'éviter la prédation. Les cycles de ponte devraient donc coïncider avec les cycles de production marine apportant de la nourriture aux larves.

La fécondité est élevée. Une femelle pond, selon les espèces, plusieurs milliers à plusieurs millions d'oeufs. D'après Geistero et Ivo (1973), un individu femelle de Lutjanus purpureus pond en moyenne 2.7 millions d'oeufs.

Les oeufs de lutjanidés ont un diamètre qui varie selon les espèces de 0,5 à 1mm. Le temps d'incubation est de 24h. Les larves sont pélagiques. A l'éclosion elles présentent un sac vitellin. La durée de la phase larvaire varie entre 25 et 50 jours selon les espèces.

Les recherches sur l'écologie des oeufs et larves sont très récentes. En effet, la première étude d'identification date de 1974 (Leis, 1987).

II.4.5. Migrations et cycle biologique du vivaneau rouge

Ivo et Hansen (1982) ont décrit le cycle du vivaneau rouge de la côte nord-est du Brésil (Fig.9). A la saison de la ponte les adultes migrent vers le large et se rassemblent pour frayer près de la pente continentale. La ponte terminée, ils retournent s'alimenter sur le plateau continental. Les oeufs et larves sont emportés par le courant des Guyanes vers le nord-ouest et sont dispersés dans la zone côtière. Les alevins s'installent dans des nurseries côtières, que les juvéniles délaissent progressivement pour rejoindre les adultes sur les fonds rocheux du plateau continental.

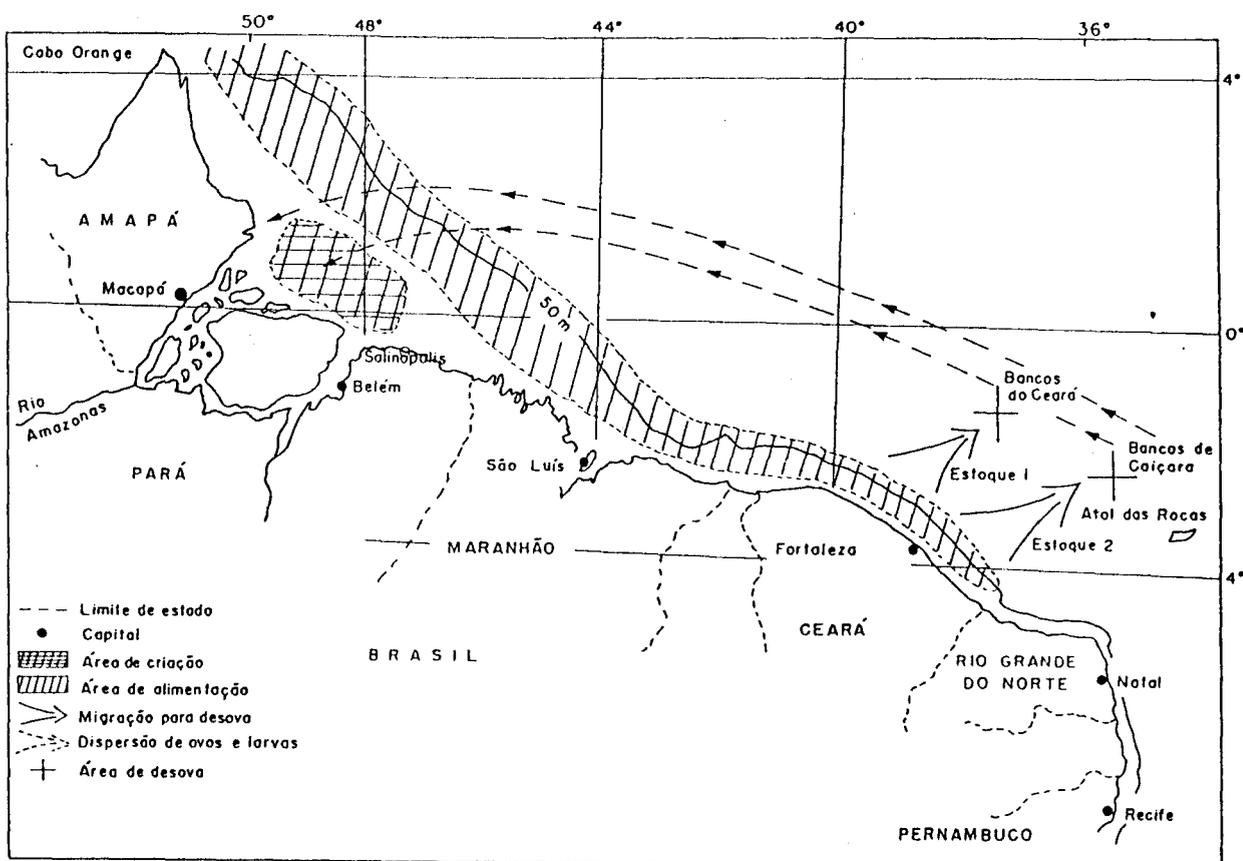


Figure 11: Migration du vivaneau rouge au large des côtes nord-est du Brésil, d'après Ivo et Hansen (1982).

II.4.6 Délimitation des stocks de vivaneau rouge

Les migrations côte-large liées à la reproduction mises à part, le vivaneau rouge est une espèce sédentaire. Les populations géographiquement voisines ont un faible taux d'échange entre elles. D'autre part, le taux d'exploitation est capable de modifier durablement la structure démographique d'un stock composé de nombreuses classes d'âge, comme le vivaneau rouge. Il est donc justifié de considérer au niveau des Guyanes autant de stocks que de ZEE. Au Brésil, Ivo et Hansen (1982) propose, vue la grande superficie du plateau continental, de diviser celui-ci en 4 secteurs.

L'étude que nous présentons concerne le stock délimité par la ZEE de la Guyane française.

III- METHODES

III- METHODES

III-1. ANALYSE GLOBALE

Le but poursuivi dans cette analyse des captures par unité d'effort est double. Nous recherchons d'une part une description quantitative de la pêcherie qui fournisse une structuration de la flottille et de la ressource, d'autre part une standardisation des PUE et des efforts dans le but de faire des prévisions de capture en fonction de l'effort de pêche, toutes choses égales par ailleurs.

III-1.1. Estimation de la production annuelle dans la ZEE

III-1.1.1. Choix et justification du plan d'échantillonnage

Les captures de vivaneau rouge débarquées à Cayenne sont enregistrées dans des documents officiels : les fiches de débarquements. Celles-ci sont fiables, mais les captures débarquées à l'extérieur de la Guyane échappent à l'heure actuelle à tout recensement. En effet, les navires quittent la ZEE régulièrement, tous les deux ou trois mois, et retournent vers leur port d'origine. Ils partent après avoir effectués une marée¹ normale et vendent leur dernière pêche au Vénézuéla ou aux Antilles. Pour estimer cette production hors du département, on estime, à partir du calendrier d'activité des navires, le nombre de marées ayant donné lieu à des débarquements à l'extérieur et on lui affecte la production moyenne des marées débarquées à Cayenne.

L'estimation de la production est donc le produit d'une variable aléatoire, la production moyenne par marée, par un nombre fixe, le nombre total de marées. L'unité d'échantillonnage est la marée. Les calculs sont réalisés séparément mois par mois pour tenir compte de la variabilité saisonnière des rendements, puis les résultats sont regroupés sur l'ensemble de l'année. Les mois définissent des strates selon la théorie de l'échantillonnage².

Le nombre de marées d'un mois donné est connu avec une incertitude fixée au jugé à 5% du nombre recensé. Pour calculer la production moyenne par marée et sa variance on

1 Pour la période 1989-1990, la durée d'une marée, comptée du jour où le bateau quitte le port pour se rendre sur les lieux de pêche au jour de son retour, est en moyenne de 12,7 jours.

2 La théorie de l'échantillonnage en strates est décrite dans Cochran (1977) et Scherrer (1983).

fait comme si on avait prélevé un échantillon de marées respectant les trois conditions de l'EAS (équiprobabilité, indépendance, et taille prédéterminée de l'échantillon). En réalité, les marées échantillonnées ne sont pas tirées au hasard mais correspondent à celles débarquées à Cayenne. Comme il est peu vraisemblable qu'il y ait une corrélation entre le port de débarquement et la taille de la capture, nous considérons que le biais résultant est négligeable. De plus, le mode d'échantillonnage sans remise entraîne l'adjonction dans la formule de la variance d'un terme de "correction de population finie" qui prend en compte le taux d'échantillonnage de la population statistique. Comme ce taux est très élevé (il varie de 60 à 90% selon les mois), le terme correctif rend négligeable l'importance d'un éventuel biais.

III-1.1.2. Notations et formules

Dans un mois h , soient N_h le nombre total de marées et n_h le nombre de marées échantillonnées. La production d'une marée i ($i=1, \dots, n_h$) le mois h est notée x_{hi} .

Lorsque la variable porte un chapeau ($\hat{}$), c'est qu'il s'agit d'un estimateur et non de sa vraie valeur.

A) Les formules de la production moyenne par marée et sa variance, notées \overline{x}_h et $\hat{v}(\overline{x}_h)$, s'écrivent (Cochran, 1977) :

$$\begin{aligned}\overline{x}_h &= \frac{1}{n_h} \cdot \sum_{i=1}^{n_h} x_{hi} \\ s_h^2 &= \frac{1}{n_h - 1} \cdot \sum_{i=1}^{n_h} (x_{hi} - \overline{x}_h)^2 \\ \hat{v}(\overline{x}_h) &= \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) \cdot \frac{s_h^2}{n_h} \quad , \text{ compte tenu de la correction de population finie.}\end{aligned}$$

B) Pour un mois h , l'estimation de la production totale t_h et de sa variance $v(t_h)$ sont égales à :

$$\begin{aligned}\hat{t}_h &= \overline{x}_h \cdot N_h \\ \hat{v}(\hat{t}_h) &= \hat{v}(\overline{x}_h) \cdot N_h^2\end{aligned}$$

En remplaçant $v(x_{hi})$ par son expression précédente on obtient :

$$\widehat{v}(\widehat{t}_h) = \left(1 - \frac{n_h}{N_h}\right) \cdot \frac{s_h^2}{n_h} \cdot N_h^2$$

L'estimation de la production annuelle t et de sa variance $v(t)$ s'obtiennent par sommation des totaux et variances mensuels :

$$\widehat{t} = \sum_{h=1}^{12} \widehat{t}_h$$

$$\widehat{v}(\widehat{t}) = \sum_{h=1}^{12} \widehat{v}(\widehat{t}_h)$$

III-1.2. Traitement des statistiques de pêche

L'application du modèle linéaire à l'estimation des puissances de pêche et abondances apparentes est relativement ancienne. Elle est, en effet, suggérée par Gulland (1956) et Robson (1966). Le modèle initial est multiplicatif, mais par transformation logarithmique, on se ramène au modèle linéaire additif, qu'il est alors possible de résoudre.

Cette procédure a été programmée en FORTRAN par Bérude (in Abramson, 1971 et Sims, 1986). Le logiciel nécessite l'inversion d'une matrice symétrique dont la dimension est $N_b + N_s - 1$, où N_b est le nombre de bateaux, N_s le nombre total de strates spatio-temporelles. L'analyse de cas concrets (Charuau et al., 1986) où N_b avoisinait 400, N_s 100, a créé des problèmes pratiques liés aux moyens informatiques requis. Modérées en matière d'espace-mémoire requis, ces difficultés sont beaucoup plus graves en matière de temps de calcul. On sait en effet que le temps nécessaire à l'inversion d'une matrice croît comme le cube de sa dimension. La définition d'une technique de calcul permettant de réduire les dimensions mises en cause est ainsi d'un intérêt majeur. La technique présentée dans les pages qui suivent feront que le système linéaire à résoudre aura pour dimension le plus petit des nombres N_b et N_s . Dans l'exemple évoqué, la dimension du système à résoudre est passée de 500 à 100. Le temps de calcul sur un ordinateur DPS7000/80 a été réduit de 518.2 mn à 2.4 mn. Les calculs deviennent ainsi possibles sur micro-ordinateurs dans un très grand nombre de situations. La procédure utilisée, classique pour les statisticiens spécialisés dans le modèle linéaire (cf. par exemple Morrison, 1976), n'avait pas fait l'objet d'un exposé adapté aux problèmes de puissances de pêche et d'abondances apparentes. L'article de Laurec et Péroudou (1987) a comblé cette lacune.

Dans le présent chapitre, la procédure sera adaptée au cas où l'abondance apparente se décompose en deux effets multiplicatifs, une composante annuelle et une composante

liée à un effet croisé du secteur et de la saison. Après transformation logarithmique, le modèle initial devient un modèle linéaire à trois facteurs, utilisé pour la première fois par Laurec et Fonteneau (1979), puis par Gavaris (1980), et enfin discuté dans Anon. (1984). Le système d'équations à résoudre aura pour dimension la somme des deux plus petits nombres des trois N_y , N_b et N_s (N_y étant le nombre d'années).

La première partie du chapitre est consacrée à un rappel mathématique du modèle linéaire et du problème fondamental d'ajustement. La seconde applique la technique de substitution à la résolution des problèmes linéaires, sans rechercher d'inférences sur les résultats obtenus. La troisième partie est consacrée aux problèmes de variance. Enfin, la dernière partie présente quelques remarques sur la correction dite de Laurent (1963).

III-1.2.1. Présentation du modèle linéaire et des hypothèses requises

Un ensemble de N_b bateaux numérotés $i = 1$ à N_b sera considéré. La puissance de pêche du bateau i est P_i , son logarithme népérien est p_i . Les bateaux opèrent, selon le modèle linéaire à deux facteurs de Robson, dans des strates spatio-temporelles numérotées $j = 1$ à N_s où les abondances apparentes sont notées A_j , leurs logarithmes a_j .

Dans le modèle à trois facteurs, où plusieurs années sont considérées, avec séparation d'un effet annuel et d'un effet spatio-saisonnier, les années sont numérotées $k = 1$ à N_y et les strates restent numérotées $j = 1$ à N_s . Les abondances apparentes respectives sont notées D_k et A_j , leurs logarithmes d_k et a_j .

Chaque observation U est une PUE et $u = \ln U$. Elle est indicée par $\ell = 1$ à N_ℓ , et se rapporte à un bateau $i(\ell)$, à une strate $j(\ell)$, éventuellement à une année $k(\ell)$. Un poids éventuel m_ℓ peut lui être accordé.

Les équations et systèmes les plus importants sont encadrés et numérotés en chiffres arabes pour les équations, en chiffres romains pour les systèmes d'équations.

Avec ces notations le modèle de Robson (1966) s'écrit :

$$U_\ell = P_{i(\ell)} \cdot A_{j(\ell)} \cdot E_\ell$$

soit après transformation logarithmique :

$$(1) \quad \boxed{u_{\ell} = p_{1(\ell)} + a_{j(\ell)} + \varepsilon_{\ell}}$$

où E_{ℓ} est un résidu multiplicatif inexplicé, et ε_{ℓ} son logarithme. Dans le modèle le plus simple, les ε_{ℓ} sont centrés, normaux, de variance constante et mutuellement indépendants.

Les puissances de pêche des navires sont définies par rapport à un état de référence. Pour simplifier on posera $P_1 = 1$, ou $p_1 = 0$, pour un bateau numéroté $i = 1$ choisi comme référence. Dans la suite, les sommations sur i se feront toujours de 2 à N_i .

Le modèle à trois facteurs s'écrit quant à lui :

$$U_{\ell} = D_{k(\ell)} \cdot P_{i(\ell)} \cdot A_{j(\ell)} \cdot E_{\ell}$$

soit après transformation logarithmique :

$$(2) \quad \boxed{u_{\ell} = d_{k(\ell)} + p_{i(\ell)} + a_{j(\ell)} + \varepsilon_{\ell}}$$

Les ε_{ℓ} font l'objet, dans le modèle simple, des mêmes hypothèses que précédemment.

Les abondances apparentes spatio-saisonnnières sont, comme les puissances de pêche, des grandeurs relatives. On posera par convention $P_1 = 1$, $A_1 = 1$, donc $p_1 = 0$ et $a_1 = 0$, pour un bateau $i = 1$ et une strate $j = 1$ pris comme références. Les sommations sur j se feront de 2 à N_j .

La condition générale d'application de ce modèle est la constance d'une année sur l'autre des puissances de pêche des navires et des abondances apparentes des strates spatio-saisonnnières. C'est l'hypothèse majeure de reproductibilité des structures (Laurec et Fonteneau, 1979).

La composante annuelle d_k de l'abondance apparente est supposée constante à l'intérieur d'une année k (Laurec et Le Gall, 1975) et la même pour tous les bateaux.

Enfin, les abondances sont dites "apparentes" pour garder en mémoire qu'elles correspondent à la combinaison de trois facteurs : la densité réelle du poisson, le comportement du pêcheur à l'égard de l'espèce et l'efficacité de l'engin de pêche. Les variations de densité sont supposées être prédominantes.

On a donc les égalités suivantes :

$$\alpha_{\ell 1} = \delta_{1, 1(\ell)}$$

$$\beta_{\ell j} = \delta_{j, 1(\ell)}$$

$$\gamma_{\ell k} = \delta_{k, 1(\ell)}$$

Chaque élément est donc égal à 0 ou 1 conformément au plan d'expérience : pour chaque observation u_{ℓ} correspondant à une ligne, les éléments $\alpha_i, \beta_j, \gamma_k$ prennent la valeur 1 et les autres la valeur 0 selon le bateau, la strate et l'année concernés par l'observation ℓ . Elle s'écrit sous la forme :

$$u_{\ell} = \sum_{i=2}^{N_b} p_i \cdot \alpha_{\ell i} + \sum_{j=2}^{N_s} a_j \cdot \beta_{\ell j} + \sum_{k=1}^{N_y} d_k \cdot \gamma_{\ell k} + \varepsilon_{\ell}$$

L'ajustement du modèle par les moindres carrés correspond à la solution qui minimise le produit scalaire :

$$\varepsilon' \cdot \varepsilon = \sum_{\ell=1}^{N_0} \varepsilon_{\ell}^2$$

Il s'obtient par annulation des dérivées partielles :

$$\frac{\partial(\varepsilon' \cdot \varepsilon)}{\partial \mathbf{a}} = 0$$

On a :

$$\varepsilon' \cdot \varepsilon = (\mathbf{Y} - \mathbf{X} \cdot \mathbf{a})' (\mathbf{Y} - \mathbf{X} \cdot \mathbf{a}) = \mathbf{Y}' \cdot \mathbf{Y} - 2 \mathbf{a}' \cdot \mathbf{X}' \cdot \mathbf{Y} + \mathbf{a}' \cdot \mathbf{X}' \cdot \mathbf{X} \cdot \mathbf{a}$$

donc :

$$\frac{\partial(\varepsilon' \cdot \varepsilon)}{\partial \mathbf{a}} = -2 \mathbf{X}' \cdot \mathbf{Y} + 2 \mathbf{X}' \cdot \mathbf{X} \cdot \mathbf{a}$$

On en tire la condition :

$$\mathbf{X}' \cdot \mathbf{X} \cdot \mathbf{a} = \mathbf{X}' \cdot \mathbf{Y}$$

C'est un système de c équations à c inconnues. On en tire la solution :

$$a = (X'X)^{-1} \cdot X'Y, \text{ vecteur de dimension } (N_{b-1} + N_{s-1} + N_y)$$

à condition que $X'X$ soit inversible. Elle l'est si N_0 est supérieur ou égal à c (plus d'équations que d'inconnues) et si X est de plein rang (c'est à dire de rang c). Pour que la matrice soit de plein rang nous avons imposé les deux contraintes $p_1 = 0$ et $a_1 = 0$. Dans le cas contraire le système linéaire est indéterminé.

B) LES EQUATIONS D'AJUSTEMENT PAR MOINDRES-CARRES PONDERES

L'ajustement par moindres-carrés pondérés conduira à minimiser la fonction :

$$\phi = \sum_{\ell=1}^{N_0} m_{\ell} (u_{\ell} - p_{1(\ell)} - a_{j(\ell)} - d_{k(\ell)})^2$$

avec :

$$p_{1(\ell)} = \sum_{i=2}^{N_b} p_i \cdot \alpha_{\ell i}$$

$$a_{j(\ell)} = \sum_{j=2}^{N_s} a_j \cdot \beta_{\ell j}$$

$$d_{k(\ell)} = \sum_{k=1}^{N_y} d_k \cdot \gamma_{\ell k}$$

m_{ℓ} est un facteur de pondération dont la validité est longuement discutée par Laurec et Fonteneau (1979). Il peut prendre une valeur égale à l'effort de pêche, ou bien, lorsqu'on réalise une isopondération, une valeur constante.

Pour minimiser cette fonction ϕ , on annulera ses dérivées partielles qu'il convient donc d'explicitier :

$$\Leftrightarrow \frac{\partial \phi}{\partial p_i} = \frac{\partial \phi}{\partial a_j} = \frac{\partial \phi}{\partial d_k} = 0 \quad \forall i, j, k$$

Annulons la dérivée partielle par rapport à un facteur p_i choisi :

$$\frac{\partial \phi}{\partial p_i} = -2 \cdot \sum_{\ell=1}^{N_0} m_{\ell} \cdot \delta_{i,1(\ell)} \cdot (u_{\ell} - p_{1(\ell)} - a_{j(\ell)} - d_{k(\ell)})$$

de $i = 1$ à N_b

soit après développement :

$$-\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial p_i} = \sum_{\ell=1}^{N_0} m_{\ell} \cdot \delta_{i,1(\ell)} \cdot u_{\ell} - \sum_{\ell=1}^{N_0} m_{\ell} \cdot \delta_{i,1(\ell)} \cdot p_{1(\ell)} - \sum_{\ell=1}^{N_0} m_{\ell} \cdot \delta_{i,1(\ell)} \cdot a_{j(\ell)} - \sum_{\ell=1}^{N_0} m_{\ell} \cdot \delta_{i,1(\ell)} \cdot d_{k(\ell)}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial p_i} = 0 \Leftrightarrow \sum_{\ell=1}^{N_0} m_\ell \cdot \delta_{i,1}(\ell) \cdot u_\ell = \sum_{\ell=1}^{N_0} m_\ell \cdot \delta_{i,1}(\ell) \cdot p_i(\ell) + \sum_{\ell=1}^{N_0} m_\ell \cdot \delta_{i,1}(\ell) \cdot a_j(\ell) + \sum_{\ell=1}^{N_0} m_\ell \cdot \delta_{i,1}(\ell) \cdot d_k(\ell)$$

Cela conduit au système défini par l'équation (3) :

$$(3) \quad w_{i..} \cdot p_i + \sum_{j=2}^{N_s} w_{ij.} \cdot a_j + \sum_{k=1}^{N_y} w_{i..k} \cdot d_k = v_{i..}$$

pour $i = 2, \dots, N_b$

en posant :

$$\begin{aligned} w_{ijk} &= \sum_{\ell=1}^{N_0} \delta_{i,1}(\ell) \cdot \delta_{j,1}(\ell) \cdot \delta_{k,1}(\ell) \cdot m_\ell \\ w_{ij.} &= \sum_{k=1}^{N_y} w_{ijk} = \sum_{\ell=1}^{N_0} \delta_{i,1}(\ell) \cdot \delta_{j,1}(\ell) \cdot m_\ell \\ w_{i..} &= \sum_{j=2}^{N_s} w_{ij.} = \sum_{\ell=1}^{N_0} \delta_{i,1}(\ell) \cdot m_\ell \\ v_{i..} &= \sum_{\ell=1}^{N_0} \delta_{i,1}(\ell) \cdot m_\ell \cdot u_\ell \end{aligned}$$

De même annuler les dérivées partielles par rapport aux autres facteurs a_j et d_k revient à satisfaire les égalités (4) et (5), obtenues comme précédemment par permutation d'indices :

$$(4) \quad \sum_{i=2}^{N_b} w_{ij.} \cdot p_i + w_{.j.} \cdot a_j + \sum_{k=1}^{N_y} w_{.jk} \cdot d_k = v_{.j.}$$

pour $j = 2, \dots, N_s$

$$(5) \quad \sum_{i=2}^{N_b} w_{i..k} \cdot p_i + \sum_{j=2}^{N_s} w_{.jk} \cdot a_j + w_{..k} \cdot d_k = v_{..k}$$

pour $k = 1, \dots, N_y$

C) RESOLUTION APRES REDUCTION DES DIMENSIONS

- Partition des matrices

Considérons le système général d'équations $EX = Y$ de dimension N . Décomposons N en $N_1 + N_2 + N_3$ et partitionnons les trois matrices E , X et Y pour aboutir au système suivant :

$$\begin{bmatrix} E_{11} & E_{12} & E_{13} \\ E_{21} & E_{22} & E_{23} \\ E_{31} & E_{32} & E_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix}$$

X_1 et Y_1 sont des vecteurs de dimension N_1

X_2 et Y_2 sont des vecteurs de dimension N_2

X_3 et Y_3 sont des vecteurs de dimension N_3

E_{12} possède N_1 lignes et N_2 colonnes, les dimensions étant échangées pour E_{21} . De même pour E_{13} et E_{31} ainsi que pour E_{23} et E_{32} .

E_{11} , E_{22} , et E_{33} sont des matrices carrées de dimensions respectives N_1, N_2, N_3 .

Comme E est symétrique, E_{11} , E_{22} et E_{33} le sont aussi tandis que E_{21} , E_{31} et E_{32} sont égales à leurs transposées E'_{12} , E'_{13} et E'_{32} .

- Résolution partielle et substitution

Considérons la partition suivante :

$$\left[\begin{array}{c|cc} E_{11} & E_{12} & E_{13} \\ \hline E_{21} & E_{22} & E_{23} \\ \hline E_{31} & E_{32} & E_{33} \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix}$$

Alors le système d'équation $EX = Y$ équivaut à l'ensemble des deux sous-systèmes :

$$(1a) \quad E_{11} \cdot X_1 + [E_{12} \ E_{13}] \cdot \begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = Y_1$$

$$(1b) \quad \begin{bmatrix} E_{21} \\ E_{31} \end{bmatrix} \cdot [X_1] + \begin{bmatrix} E_{22} & E_{23} \\ E_{32} & E_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix}$$

Le système 1(a) conduit à :

$$(II) \quad X_1 = E_{11}^{-1} \cdot (Y_1 - (E_{12} \cdot X_2 + E_{13} \cdot X_3))$$

Une substitution dans le sous-système I (b) conduit au système III :

$$\begin{bmatrix} E_{22} - E_{21} \cdot E_{12} \cdot E_{11}^{-1} & E_{23} - E_{21} \cdot E_{13} \cdot E_{11}^{-1} \\ E_{32} - E_{31} \cdot E_{12} \cdot E_{11}^{-1} & E_{33} - E_{31} \cdot E_{13} \cdot E_{11}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_2 - E_{21} \cdot Y_1 \cdot E_{11}^{-1} \\ Y_3 - E_{31} \cdot Y_1 \cdot E_{11}^{-1} \end{bmatrix}$$

que l'on notera :

$$[H] \cdot \begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_2 \\ Z_3 \end{bmatrix}$$

Pour suivre cette procédure il convient d'abord d'inverser la matrice E_{11} , ce qui est facile puisque c'est une matrice diagonale. On résoud ensuite le système III, ce qui donne X_2 et X_3 . Enfin on en déduit X_1 par l'équation II.

- Application au problème posé

On aménage le système pour faire apparaître d'abord les paramètres correspondants à la catégorie la plus nombreuse. Selon les cas, ce sera N_{b-1} , N_{s-1} , ou de façon moins vraisemblable N_y . La première option mène à un système de dimension $N_{s-1} + N_y$, la seconde à $N_{b-1} + N_y$. Nous ignorons si une seconde procédure de substitution serait utile. Comme N_y est généralement faible, les réductions permises par la simple substitution seront substantielles. Pour traiter le cas des PUE de navires de recherche, ceux-ci étant généralement peu nombreux, les séries historiques courtes, les calculs seront généralement rapides, même si le nombre de strates est élevé.

Dans le cas où $N_{b-1} \geq N_{s-1} \geq N_y$ le système d'équations de dimension $N_b + N_s + N_y - 2$ peut s'écrire sous forme d'un système partitionné avec $N_1 = N_b - 1$, $N_2 = N_s - 1$ et $N_3 = N_y$. Cette partition est résumée par le schéma suivant :

$$\begin{array}{c}
 2 \dots i_1 \dots N_b \dots 2 \dots j_1 \dots N_s \dots 1 \dots k_1 \dots N_y \\
 \left[\begin{array}{ccc|ccc}
 W_{2..} & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots \\
 0 & W_{11..} & \dots & \dots & W_{11j_2} & \dots \\
 0 & \dots & W_{N_b..} & \dots & \dots & \dots \\
 \hline
 \dots & \dots & \dots & W_{.2.} & \dots & 0 \\
 \dots & W_{i_2j_1.} & \dots & 0 & W_{.j_2.} & 0 \\
 \dots & \dots & \dots & 0 & \dots & W_{.N_s.} \\
 \hline
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & w_{..1} \\
 \dots & W_{i_2.k_1} & \dots & \dots & W_{.j_2k_1} & \dots \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & w_{..N_y}
 \end{array} \right]
 \begin{array}{c}
 p_2 \\
 \vdots \\
 p_{i_1} \\
 \vdots \\
 p_{N_b} \\
 \hline
 a_2 \\
 \vdots \\
 a_{j_1} \\
 \vdots \\
 a_{N_y} \\
 \hline
 d_1 \\
 \vdots \\
 d_{k_1} \\
 \vdots \\
 d_{N_y}
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 v_{2..} \\
 \vdots \\
 v_{i_1..} \\
 \vdots \\
 v_{N_b..} \\
 \hline
 v_{.2.} \\
 \vdots \\
 v_{.j_2.} \\
 \vdots \\
 v_{.N_s.} \\
 \hline
 v_{..1} \\
 \vdots \\
 v_{..k_1} \\
 \vdots \\
 v_{..N_y}
 \end{array}$$



Le système II devient :

$$p_i = \frac{\left(v_{i..} - \sum_{j=2}^{N_s} w_{ij..} \cdot a_j - \sum_{k=1}^{N_y} w_{i.k} \cdot d_k \right)}{w_{i..}}$$

pour $i = 2, \dots, N_b$

Le système III devient :

$$\sum_{j_2=2}^{j_1} \left(\delta_{j_1 j_2} \cdot w_{j_1} - \sum_{i=2}^{N_b} \frac{w_{i j_2} \cdot w_{i j_1}}{w_{i..}} \right) \cdot a_{j_2} + \sum_{k=1}^{N_y} \left(w_{j_1 k} - \sum_{i=2}^{N_b} \frac{w_{i j_1} \cdot w_{i k}}{w_{i..}} \right) \cdot d_k$$

$$= v_{j_1} - \left(\sum_{i=2}^{N_b} w_{i j_1} \cdot \frac{v_{i..}}{w_{i..}} \right)$$

pour $j_1 = 2, \dots, N_s$

$$\sum_{j_2=1}^{N_s} \left(w_{j_2 k_1} - \sum_{i=2}^{N_b} \frac{w_{i k_1} \cdot w_{i j_2}}{w_{i..}} \right) \cdot a_{j_2} + \sum_{k_2=1}^{k_1} \left(\delta_{k_1 k_2} \cdot w_{.. k_1} - \sum_{i=2}^{N_b} \frac{w_{i k_1} \cdot w_{i k_2}}{w_{i..}} \right) \cdot d_{k_2}$$

$$= v_{.. k_1} - \left(\sum_{i=2}^{N_b} w_{i k_1} \cdot \frac{v_{i..}}{w_{i..}} \right)$$

pour $k_1 = 1, \dots, N_y$

En terme d'optimisation des ressources informatiques la matrice H est symétrique et seul le triangle supérieur ou inférieur est conservé. Pour éviter d'avoir à stocker les tableaux des w_{ij} , $w_{i.k}$ on calcule au préalable tous les $w_{i..}$ par la formule :

$$w_{i..} = \sum_{\ell=1}^{N_0} m_{\ell} \cdot \delta_{1,1}(\ell)$$

Ensuite, par une boucle sur les i bateaux on calcule les w_{ij} et $w_{i.k}$, et avant de passer à un nouveau bateau, on incrémente les sommes :

$$\frac{w_{i j_2} \cdot w_{i j_1}}{w_{i..}} ; \frac{w_{i j_1} \cdot w_{i k}}{w_{i..}} ; \frac{w_{i j_1} \cdot v_{i..}}{w_{i..}}$$

pour $j_1 = 2, \dots, N_s$

$$\frac{w_{i k_1} \cdot w_{i j_2}}{w_{i..}} ; \frac{w_{i k_1} \cdot w_{i k_2}}{w_{i..}} ; \frac{w_{i k_1} \cdot v_{i..}}{w_{i..}}$$

pour $k_1 = 1, \dots, N_y$

Le programme que nous avons écrit suit cette procédure. Il a été baptisé PUIS3. Un listing figure dans l'annexe 1. C'est une version généralisée à trois facteurs du programme PUIS2 qui s'applique au modèle linéaire à deux facteurs.

Ce programme fait double emploi avec le programme ESTIM. En les comparant il ressort que :

1) le programme PUIS3 est plus performant dans l'utilisation des ressources informatiques, notamment en temps de calcul. Dans le cas du vivaneau rouge où $N_b = 53$, $N_s = 56$ et $N_y = 5$, la réduction de la dimension du système à résoudre permet à PUIS3 d'être $(112/57)^3 = 7,6$ fois plus rapide que le programme ESTIM. C'est appréciable bien que l'exemple soit dans la situation la moins favorable puisque N_b et N_s sont presque identiques. Dans un cas hypothétique où $N_b = 400$, $N_s = 100$ et $N_y = 5$, le programme PUIS3 serait 113 fois plus rapide.

2) le programme PUIS3 accepte les données sans classification préalable alors que le programme ESTIM lit les PUE de façon rigide en faisant varier d'abord la strate, puis l'engin et enfin l'année. Il est alors nécessaire de placer les cellules vides dans le fichier de données. Dans le cas du vivaneau rouge il y a $56 \times 53 \times 5 = 14\ 840$ cellules possibles et un total de 4 153 PUE observées. Le fichier préparé contiendrait donc une majorité de cellules vides. Il serait volumineux et son temps de lecture important.

3) Enfin dans le cas général où l'on dispose de plusieurs observations par cellule, PUIS3 les traite toutes alors qu'ESTIM en utilise qu'une seule, la moyenne, entraînant une perte d'information disponible.

En conclusion on peut dire que le programme PUIS3 remplace avantageusement le programme ESTIM.

D) INFERENCE STATISTIQUES

- Considérations générales

La résolution du système III peut se faire sans inverser la matrice H. Cette inversion sera en revanche nécessaire pour effectuer des inférences. Si C_{zz} est la matrice de variance-covariance du vecteur $[Z_2 \ Z_3]'$, la matrice de variance-covariance de $[X_2 \ X_3]'$ sera alors égale à $H^{-1} \cdot C_{zz} \cdot H^{-1}$ Pour obtenir la matrice de variance-

covariance de X_1 , et la matrice des covariances de X_1 et $\begin{bmatrix} X_2 & X_3 \end{bmatrix}$ les formules seront plus complexes.

Pour résoudre le problème on peut réaménager les systèmes d'équations II et III pour passer du système $E.X = Y$ au système $X = G.Y$.

en rappelant que :

$$H = \begin{bmatrix} E_{22} - E_{21}.E_{12}.E_{11}^{-1} & E_{23} - E_{21}.E_{13}.E_{11}^{-1} \\ E_{32} - E_{31}.E_{12}.E_{11}^{-1} & E_{33} - E_{31}.E_{13}.E_{11}^{-1} \end{bmatrix}$$

Le système III peut s'écrire :

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = [H^{-1}] \cdot \begin{bmatrix} Y_2 - E_{21}.Y_1.E_{11}^{-1} \\ Y_3 - E_{31}.Y_1.E_{11}^{-1} \end{bmatrix}$$

soit :

$$\boxed{\begin{bmatrix} X_2 \\ X_3 \end{bmatrix} = \left(-H^{-1} \cdot \begin{bmatrix} E_{21} \\ E_{31} \end{bmatrix} \cdot E_{11}^{-1} \right) \cdot Y_1 + H^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix}}$$

Le système II devient alors :

$$X_1 = E_{11}^{-1} \cdot Y_1 - E_{11}^{-1} \cdot [E_{12} \ E_{13}] \cdot \left\{ \left(-H^{-1} \cdot \begin{bmatrix} E_{21} \\ E_{31} \end{bmatrix} \cdot E_{11}^{-1} \right) \cdot Y_1 + H^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix} \right\}$$

soit en regroupant les termes en Y_1 :

$$\boxed{X_1 = E_{11}^{-1} + E_{11}^{-1} \cdot [E_{12} \ E_{13}] \cdot H^{-1} \cdot \begin{bmatrix} E_{21} \\ E_{31} \end{bmatrix} \cdot E_{11}^{-1} \cdot Y_1 - E_{11}^{-1} \cdot [E_{12} \ E_{13}] \cdot H^{-1} \cdot \begin{bmatrix} Y_2 \\ Y_3 \end{bmatrix}}$$

Globalement on en revient à $X = G.Y$, G étant une matrice partitionnée comme suit :

$$\left[\begin{array}{c|c} E_{11}^{-1} + E_{11}^{-1} \cdot [E_{12} \ E_{13}] \cdot H^{-1} \cdot \begin{bmatrix} E_{21} \\ E_{31} \end{bmatrix} \cdot E_{11}^{-1} & -E_{11}^{-1} \cdot [E_{12} \ E_{13}] \cdot H^{-1} \\ \hline -E_{11}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} E_{21} \\ E_{31} \end{bmatrix} \cdot H^{-1} & H^{-1} \end{array} \right]$$

En fait la matrice G qui vient d'être définie est l'inverse de la matrice E du système précédent. On est donc ramené à la procédure classique. Si C_{xx} est la matrice de variance-covariance de X , C_{yy} celle de Y :

$$(V) \quad C_{xx} = G \cdot C_{yy} \cdot G = E^{-1} \cdot C_{yy} \cdot E^{-1}$$

La procédure de partition-substitution permet d'opérer un retour au cas général. Disposant de C_{xx} , il est possible d'en déduire les variances des p_i , a_j et d_k .

- Particularités du modèle stochastique simple

Par modèle simple, on entend un modèle où les différents termes sont centrés, indépendants, et d'une variance égale à $\frac{\sigma^2}{m_\ell}$

La pondération par les m_ℓ a alors pour but de rééquilibrer les variances. Dans ce cadre on vérifie que la covariance de v_{i1} et v_{i2} est égale à :

$$\sum_{\ell=1}^{N_0} \delta_{i1, i1}(\ell) \cdot \delta_{i2, i2}(\ell) \cdot m_\ell \frac{\sigma^2}{m_\ell} = \delta_{i1, i2} \left(\sum_{\ell=1}^{N_0} \delta_{i1, i1}(\ell) m_\ell \sigma^2 \right)$$

soit encore : $\delta_{i1, i2} \cdot W_{i1, i2} \cdot \sigma^2$

La covariance de $v_{.j1}$ et $v_{.j2}$ est de même égale à : $\delta_{.j1, .j2} \cdot W_{.j1, .j2} \cdot \sigma^2$

La covariance de $v_{i.}$ et $v_{.j.}$ est égale à :

$$\sum_{\ell=1}^{N_0} \delta_{i, i}(\ell) \delta_{.j, .j}(\ell) \cdot m_\ell \frac{\sigma^2}{m_\ell} = \sigma^2 \cdot W_{ij}$$

Il apparaît ainsi que :

$$C_{yy} = E \cdot \sigma^2$$

Le système V se simplifie alors en :

$$C_{xx} = \sigma^2 \cdot E^{-1} \cdot E \cdot E^{-1} = \sigma^2 \cdot E^{-1}$$

$$(VI) \quad \boxed{C_{xx} = \sigma^2 \cdot E^{-1}}$$

Le calcul de $G = E^{-1}$ donne ainsi la matrice de variance-covariance recherchée.

L'estimateur sans biais s^2 de σ^2 est donné par l'expression suivante :

$$s^2 = \frac{1}{N_0 - N_p - N_s - N_y} \sum_{i=1}^{N_0} e_i^2$$

Les estimations individuelles des variances des puissances de pêche et abondances apparentes sont donc les termes diagonaux de la matrice C_{xx} .

Ce résultat repose sur des hypothèses d'indépendance des résidus et d'homoscédasticité des régresseurs. Le logiciel conçu s'attache ainsi à étudier la structure des résidus, ainsi qu'il est de rigueur pour tout programme de régression bien conçu. Aux histogrammes habituels s'ajoute ainsi l'examen de diverses sources possibles d'hétéroscédasticité (variances liées aux bateaux, et/ou aux strates). Les liaisons entre résidus seront étudiées au travers de corrélations spatiales et temporelles. Le premier intérêt d'un logiciel spécifique, par opposition à un logiciel standard d'ajustement du modèle linéaire, correspond à la possibilité d'effectuer un examen des corrélations entre résidus, adapté à la nature du problème.

- Remarque sur l'importance du facteur de correction du biais

Les estimateurs des puissances de pêche et des abondances apparentes sont biaisés du fait de l'utilisation de la transformation logarithmique préalable (Laurent, 1963). On sait en effet que si l'on tente d'estimer y par e^x , x étant un estimateur non biaisé d'espérance μ et de variance σ^2 , l'espérance de e^x n'est pas égal à e^μ mais à :

$$e^\mu \cdot \left(1 + \frac{1}{2} \cdot \sigma^2\right)$$

Ce biais se détermine à partir d'une approximation d'une fonction par un développement en série de Taylor. Si on pose :

$$y = e^x ; E(x) = \mu ; E(x - \mu)^2 = \sigma^2$$

On obtient en développant au voisinage de μ :

$$y = e^{\mu} + \frac{(\bar{x} - \mu)}{1!} \cdot e^{\mu} + \frac{(\bar{x} - \mu)^2}{2!} \cdot e^{\mu} + \dots$$

L'espérance de cette fonction est égale à :

$$E(y) = e^{\mu} + e^{\mu} \cdot E(x - \mu) + \frac{e^{\mu}}{2!} \cdot E(x - \mu)^2 + \dots$$

$E(x - \mu) = 0$. En négligeant les termes supérieurs à l'ordre 2, on obtient l'approximation recherchée :

$$E(e^x) \approx e^{\mu} + \frac{\sigma^2}{2} \cdot e^{\mu}$$

Il est donc nécessaire en théorie d'introduire un facteur de correction. Une estimation non biaisée après remplacement de σ^2 par s^2 est donnée par

$$\hat{y} \approx e^{\bar{x}} \cdot \left(1 - \frac{s^2}{2} \right)$$

A l'expérience, les coefficients de correction estimés sont rarement importants et lorsque s^2 est faible, ils sont vite négligeables. Quand s^2 croît, la variance croît plus vite que le biais. Si l'on considère l'erreur quadratique moyenne calculée sur les transformées, somme de la variance et du carré du biais, le premier terme est donc toujours largement dominant.

Il apparaît ainsi que soit s^2 est élevé et toute estimation est imprécise, soit s^2 est faible et les problèmes de biais sont négligeables. Il convient donc de ne pas dramatiser l'absence de l'estimation de la correction de Laurent (1963).

III-1.2.3. Conclusion pratique

La disponibilité de données fines, issues notamment des livres de bord, laisse envisager le calcul systématique des puissances de pêche des navires et des abondances apparentes des strates spatio-temporelles. Faire appel à des algorithmes adaptés à la nature du problème traité permet une réduction considérable des temps de calcul, et accessoirement des espaces requis en mémoire centrale. Les gains de temps et d'espace sont particulièrement importants si l'on opère une estimation des paramètres sans opérer d'inférence. Cette résolution simplifiée est suffisante dans beaucoup d'applications.

Comme il est également indispensable pour d'autres applications de pouvoir effectuer des inférences, il est souhaitable de disposer d'un logiciel couvrant les deux approches.

Le souci d'effectuer des inférences amène donc à accroître le temps de calcul requis et la place mémoire nécessaire, puisqu'il faudra inverser une matrice et stocker un tableau supplémentaire correspondant aux w_{ij} , $w_{i,k}$. Cependant le surcroît d'informations doit être apprécié.

Pour obtenir une estimation non biaisée des puissances de pêche et des abondances apparentes, à partir des estimations de leurs logarithmes, une correction est nécessaire, qui n'est possible que si la variance du logarithme est connue ou estimée. L'importance de cette correction ne doit pas être surestimée en pratique.

D'autre part, pour pouvoir apprécier la fiabilité des estimations, il faut effectuer des inférences. Il est ainsi utile de disposer d'un logiciel calculant les matrices de variance-covariance. Il paraît toutefois sage de disposer en parallèle d'une version simplifiée, n'opérant pas les inférences. Elle sera utile pour effectuer des passages préliminaires destinés à épurer les données de bases. Par ailleurs, les hypothèses requises pour effectuer les inférences peuvent être mises en doute. Des techniques de rééchantillonnage (Jackknife, Bootstrap) peuvent être utilisées. Disposer d'un logiciel rapide est alors particulièrement précieux.

L'expérience nous a aussi démontré que, lorsqu'on opère sur des bateaux individuels pour effectuer ensuite une régression des puissances selon les caractéristiques connues des navires, l'erreur d'estimation des puissances était une composante faible des variances résiduelles, à quelques exceptions près correspondant aux navires ayant fourni peu de données. C'est pourquoi le logiciel simplifié fournit les $w_{i,j}$, qui offrent une première base pour effectuer une régression pondérée.

III-1.2.4. Les données : origine, contenu et structure des fichiers d'archivage

Les statistiques de pêche, collectées à l'échelle de la marée, proviennent de deux sources d'information. D'un côté les "fiches de débarquements" fournissent les quantités de vivaneau rouge débarquées à Cayenne, de l'autre les pêcheurs indiquent dans leur journal de bord la proportion capturée et l'effort de pêche dépensé par secteur au cours d'une marée.

L'enquête auprès des pêcheurs a débuté en 1986. En 1987 la quantité d'information recueillie fut suffisante pour permettre son traitement. Les 4153 PUE recueillies et traitées sont réparties annuellement de la façon suivante :

Année	1987	1988	1989	1990	1991
Nombre de PUE	90	1926	884	632	621

Tab. 4 : Répartition annuelle des PUE recueillies entre 1987 et 1991.

Ces données sont rassemblées dans un fichier d'archivage, nommé ZA, du système national informatisé de statistiques de pêche (Delpech et al., 1989).

La structure des fichiers ZA, présentée en annexe 2, comprend 5 niveaux. La structure de base de chaque niveau comprend un talon commun et un corps spécifique qui contient :

- Niveau 0 : intitulé du fichier (port, mois, an).
- Niveau 1 : description de la marée (caractéristiques du bateau, poids et valeur totaux, etc...).
- Niveau 2 : description du 2^{ème} bateau dans le cas de pêche en couple.
- Niveau 3 : description de l'effort de pêche (engins et dimensions, efforts de pêche par secteurs).
- Niveau 5 : ventilations captures par espèces, engins et secteurs.
- Niveau 6 : poids et valeurs marchandes par espèces et catégorie commerciales.

C'est à partir de ce fichier ZA qu'est extrait le fichier de données préparées ayant servi au calcul. La chaîne de traitement des PUE est schématisée dans la figure 12.

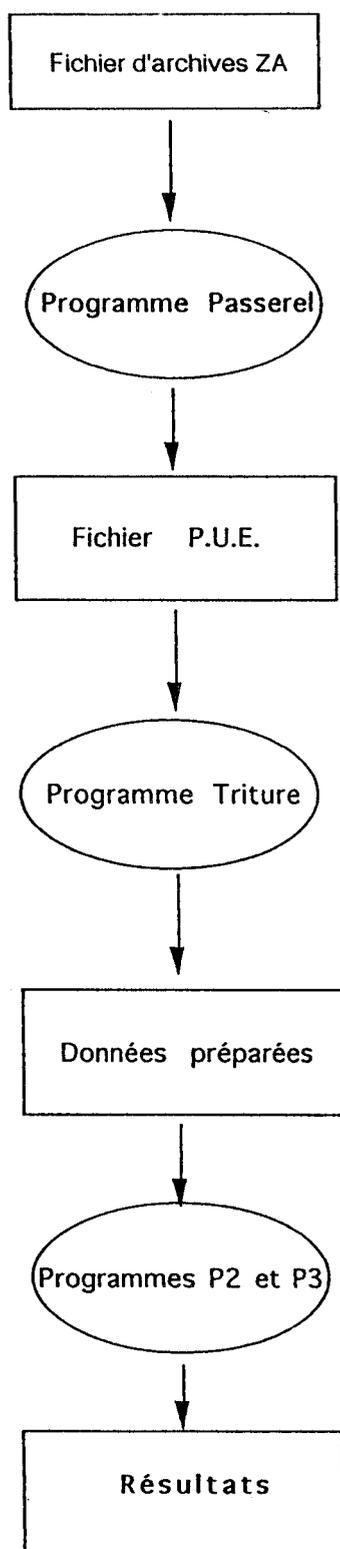


Fig. 12 : Chaîne de traitement des PUE

III-1.3. Estimation de la production en fonction de l'effort de pêche

III-1.3.1. Description du modèle global et hypothèses sous-jacentes

Les modèles globaux simulent les variations de capture d'un stock en état d'équilibre avec son milieu, en réponse à des variations d'effort de pêche. Leur mise en oeuvre demande comme données de base une série de captures et d'efforts de pêche par intervalle de temps, d'un an généralement.

Une présentation de ces modèles se trouve dans l'ouvrage de Laurec et Le Guen (1981). Nous allons ci-dessous rappeler les principales formules et leurs propriétés.

Si un stock est soumis à un effort de pêche instantané de f unités à l'instant t , le taux de capture instantané est donné par :

$$\frac{dY}{dt} = q \cdot f(t) \cdot B(t)$$

et la PUE instantanée par :

$$U = \frac{1}{f(t)} \cdot \frac{dY}{dt} = q \cdot B(t)$$

où Y est la capture, $B(t)$ et $f(t)$ représentent respectivement la biomasse exploitée et l'effort de pêche instantané à l'instant t , et q est le coefficient de capturabilité globale, c'est à dire la probabilité qu'a une unité de biomasse d'être capturée par une unité d'effort de pêche. Les PUE sont supposées être proportionnelles à la biomasse exploitée.

Dans ces conditions, d'après Pella et Tomlinson (1969), le taux de croissance du stock exploité est donné par :

$$(6) \quad \frac{dB}{dt} = H \cdot B(t)^m - K \cdot B(t) - q \cdot f(t) \cdot B(t)$$

Les deux premiers termes sont naturels, le troisième est dû à la pêche.

Les paramètres du modèle sont q , K , H et m avec $m \geq 0$ et lorsque $m = 1$ on remplace par convention B^{m-1} par $\ln(B)$: B^m devient $B \cdot \ln(B)$ (Fox, 1970). Dans ce cas limite apparaît le modèle dit exponentiel.

H et K sont négatifs quand $m \geq 1$, positifs quand $m < 1$.

On déduit à partir de ces équations de base qu'à tout effort instantané $f(t)$ correspond un état d'équilibre où :

$$\frac{dB(t)}{dt} = 0$$

Dans ces conditions, la biomasse à l'équilibre $B_e(f)$ est égale à :

$$B_e(f) = \left(\frac{K}{H} + \frac{q \cdot f}{H} \right)^{\frac{1}{m-1}}$$

La PUE correspondante $U_e(f)$ est égale à :

$$U_e(f) = q \left(\frac{K}{H} + \frac{q \cdot f}{H} \right)^{\frac{1}{m-1}}$$

et la capture totale $Y_e(f)$:

$$Y_e(f) = q \cdot f \cdot \left(\frac{K}{H} + \frac{q \cdot f}{H} \right)^{\frac{1}{m-1}}$$

Elles passent par un maximum pour

$$f_M = \frac{K \cdot (1-m)}{m \cdot q}$$

qui engendre une Production Maximale Equilibrée ,en abrégée PME, égale à

$$Y_M = \frac{K(1-m)}{m} \cdot \left(\frac{K}{m \cdot h} \right)^{\frac{1}{m-1}}$$

Dans le cas où $m > 1$, le stock disparaîtrait s'il était soumis à un effort supérieur ou égal à f_L :

$$f_L = -\frac{K}{q}$$

En revanche, pour $m < 1$, il n'est pas possible de l'éteindre : quand f augmente la production croît indéfiniment.

Les courbes donnant les productions équilibrées et les PUE équilibrées pour différentes valeurs de m ont été superposées dans les graphes ci-dessous :

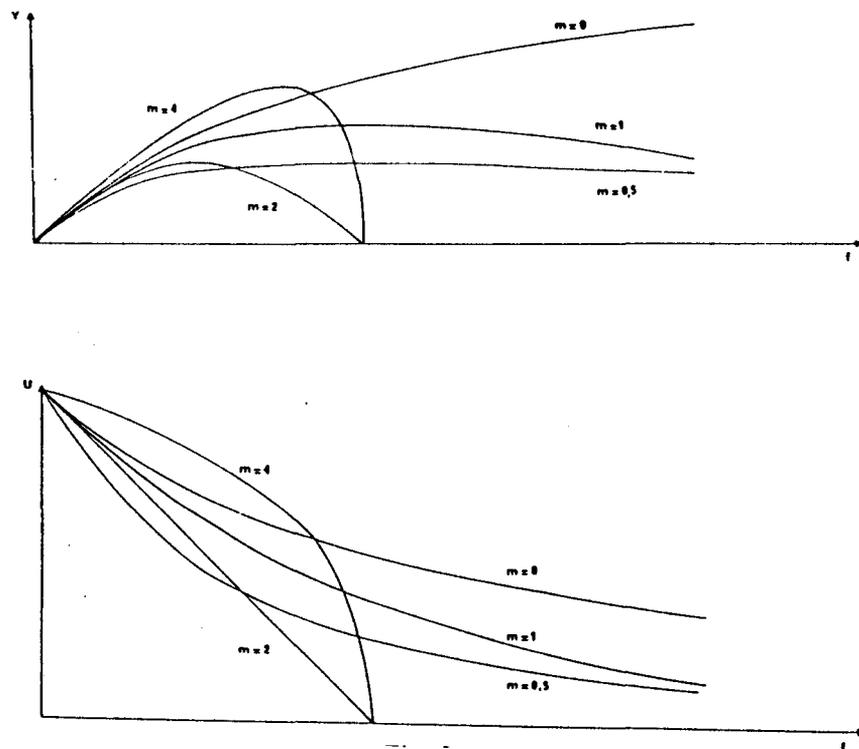


Figure 13 : Production équilibrée Y (en haut) et PUE équilibrée U (en bas) en fonction de l'effort de pêche f , pour différentes valeurs de m , d'après Laurec et Le Guen (1981).

$$(7) \quad \frac{1}{B(t)} \cdot \frac{dB}{dt} = H \cdot \ln[B(t)] - K - q \cdot f(t)$$

avec K et $H < 0$

d'où à l'équilibre la biomasse est égale à :

$$B_e(f) = \exp\left(\frac{K}{H} + \frac{q \cdot f}{H}\right)$$

la PUE correspondante à :

$$(8) \quad U_e(f) = q \cdot \exp\left(\frac{K}{H} + \frac{q \cdot f}{H}\right)$$

et la capture totale à :

$$(9) \quad Y_e(f) = q \cdot f \cdot \exp\left(\frac{K}{H} + \frac{q \cdot f}{H}\right)$$

Les modèles globaux supposent comme principales hypothèses que le milieu est constant, que la capturabilité est constante et que le stock est en équilibre stationnaire, et donc que le diagramme¹ d'exploitation est constant.

Dans un stock en équilibre le recrutement et le coefficient instantané de mortalité par pêche d'une classe de taille sont constants. Dans ces conditions, la biomasse et la capture de l'ensemble des cohortes d'un stock à un moment donné sont égales à celles d'une seule cohorte au cours de sa phase exploitée (elles constituent ce qu'on appelle une pseudo-cohorte).

En plus de l'hypothèse de stationnarité, le modèle exclut tout changement qualitatif du diagramme d'exploitation, comme par exemple un changement de la taille d'entrée dans les captures, de sorte que le niveau d'exploitation est caractérisé par un multiplicateur global de ce diagramme d'exploitation.

Enfin, le modèle suppose que la capturabilité est constante et, en particulier, qu'il n'y a pas de liaison entre la capturabilité et la biomasse.

III-1.3.2. Estimation des paramètres

A) SENSIBILITE DU MODELE

La sensibilité du modèle aux estimations des paramètres varie avec les valeurs initiales de ces paramètres et avec celle de la variable explicative f . Les variations du paramètre q influencent le degré d'ouverture de la parabole. Quant aux paramètres K et H , ils déterminent le niveau de la biomasse vierge et agissent sur la vitesse de convergence vers l'équilibre lorsque celui-ci n'est pas réalisé (Laloé, 1990). Le paramètre m décrit, dans la théorie de Pella et Tomlinson, la forme de la relation entre l'effectif des géniteurs et celui des recrues entrant dans la phase exploitée. Cette relation stock-recrutement étant fortement remise en cause aujourd'hui (colloque PNDR, 1983), et n'ayant aucune donnée sur celle du vivaneau rouge, nous avons choisi le modèle de Fox, en imposant a priori $m = 1$.

Les valeurs du modèle les plus intéressantes sont la prise maximale à l'équilibre (PME) et l'effort correspondant f_M . Elles permettent de répondre aux problèmes posés : quelle est la production maximale d'un stock en situation d'équilibre, et quelle est la valeur de l'effort de pêche pour laquelle le stock serait économiquement épuisé.

¹ Un "diagramme d'exploitation" est défini par l'ensemble des coefficients instantanés de mortalité par pêche par classes d'âge ou de taille de l'année de référence.

La valeur de la PME ne dépend que des paramètres H et K et pas du coefficient q. La valeur de f_M est par contre inversement proportionnelle à la valeur de q et dépend aussi du paramètre K dans le cas où $m > 1$.

Ainsi peut-on conclure que la valeur de f_M est imprécisément estimée, comparée à la valeur de la PME. C'est aussi une des principales conclusions à laquelle est arrivée Laloé (1990) après avoir réalisé des simulations numériques sur un stock théorique régi par l'équation du modèle global.

B) APPROXIMATION DE L' EQUILIBRE

En règle générale l'effort de pêche varie, et le stock se trouve dans une situation de transition et non d'équilibre. L'abondance et la capture d'une cohorte pour l'année i dépendent de l'effort de pêche de cette année i mais aussi des efforts des années précédentes sur une période égale à la durée de la phase exploitée. Par conséquent sur l'ensemble des classes de longueur les valeurs des PUE pour une année donnée dépendent de l'effort de cette année mais aussi de celui des années passées. Fox (1975) suggère de transformer les efforts bruts f_i en efforts corrigés \tilde{f}_i pour lesquels le stock serait proche d'une situation d'équilibre. La définition de l'effort corrigé proposé par l'auteur est la suivante :

$$\tilde{f}_i = \frac{k.f_i + (k-1).f_{i-1} + \dots + f_{i+1-k}}{k + (k-1) + \dots + 1}$$

Le paramètre k est le nombre d'années pendant lesquelles une classe d'âge contribue significativement aux captures.

C) AJUSTEMENT

Le critère utilisé pour l'ajustement est celui des moindres-carrés qui minimise la quantité :

$$\sum_{i=1}^n [Y_i - \hat{Y}_i]^2$$

où Y_i et \hat{Y}_i sont les captures observées et ajustées pendant l'année i. n est le nombre d'années pour lesquelles existent des statistiques.

L'estimation des paramètres du modèle global est conduite à l'aide du programme GENPROD écrit par Pella et Tomlinson (1969) après linéarisation de la formule 6.

- Linéarisation

La formule 6 est préalablement transformée par une intégration sur un intervalle de temps d'un an, f étant supposé constant, l'unité de temps étant l'année. La variation de biomasse en un an est :

$$\Delta B = H \cdot \int_0^1 B^m \cdot dt - K \cdot \int_0^1 B \cdot dt - Y$$

Si on pose :

$$\bar{B} = \int_0^1 B \cdot dt$$

(biomasse moyenne sur l'année), alors la capture annuelle est :

$$Y = q \cdot f \cdot \bar{B} \quad \text{et} \quad \bar{U} = \frac{Y}{f} = q \cdot \bar{B}$$

On obtient par simplification l'équation recherchée :

$$\Delta B = H \cdot \left(\frac{\bar{U}}{q}\right)^m - K \left(\frac{\bar{U}}{q}\right) - Y$$

Remarque : cette équation n'est qu'une approximation car, en règle générale,

$\int_0^1 B^m \cdot dt \approx \left[\int_0^1 B \cdot dt \right]^m$. Mais avec $m > 1$, on obtient l'inégalité de Hölder :
 $\int_0^1 B^m \cdot dt > \left[\int_0^1 B \cdot dt \right]^m$, exceptée quand le stock est en équilibre. Dans ces conditions les deux membres de l'inégalité précédente sont égaux, d'après Pella et Tomlinson (1969).

L'équation précédente peut écrire sous la forme :

$$(10) \quad \Delta U_i = H \cdot \frac{\bar{U}_i^m}{q^{m-1}} - K \cdot \bar{U}_i - q \cdot Y_i + \epsilon_i$$

où U_i et C_i représentent les PUE et les captures observées au cours de l'année i et ϵ_i un résidu inexpliqué.

Si on pose :

$$\begin{aligned}
 Y_i &= \Delta \cdot U_i & \beta_1 &= \frac{H}{q^{m-1}} \\
 X_{1i} &= \bar{U}_i^m & \beta_2 &= -K \\
 X_{2i} &= \bar{U}_i & \beta_3 &= -q \\
 X_{3i} &= Y_i
 \end{aligned}$$

La formule 10 s'écrit d'une manière plus familière :

$$Y_i = \beta_1 \cdot X_{1i} + \beta_2 \cdot X_{2i} + \beta_3 \cdot X_{3i} + \varepsilon_i$$

La résolution de cette équation linéaire, pour une valeur de m fixée, donne une estimation de B_i , $i=1,2,3$ et, par conséquent, une estimation correspondante de H , K , et q .

- technique de calcul :

Les paramètres recherchés par le programme sont les suivants :

$$f_M = \frac{K \cdot (1 - m)}{m \cdot q}$$

- q : coefficient de capturabilité

- U_{\max} : PUE maximale observée quand le stock est au maximum de sa valeur

- r : B_0/B_{\max} , rapport entre la biomasse au moment de la première observation et la biomasse maximale du stock.

La technique utilisée dans le programme pour minimiser les moindres carrés est une procédure itérative largement détaillée dans l'article de Pella et Tomlinson (1969). La procédure opère à partir de valeurs initiales hypothétiques des paramètres, choisies dans des intervalles de valeurs possibles. Les auteurs suggèrent de choisir les valeurs initiales suivantes :

- f_M = moyenne des efforts observés (intervalles égaux à 0.1 et 10 fois la moyenne).

- U_{\max} = valeur maximale observée des PUE. (intervalles égaux à 0.1 et 10 fois la valeur maximale).

- B_{\max} = quatre fois la capture maximale observée.

- $q = U_{\max}/B_{\max}$ (intervalles égaux à 0.01 et 100 fois la valeur initiale).

- $r = 0.8$ (intervalles égaux à 0 et 1).

La qualité de l'ajustement est appréciée par le coefficient R défini comme suit :

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 - \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

R^2 est homogène au carré d'un coefficient de corrélation. Il mesure le gain obtenu par l'ajustement du modèle global aux captures observées par rapport à leur moyenne arithmétique. Si le modèle global n'ajuste pas mieux les captures qu'une simple moyenne, $R^2=0$. Au contraire, si l'ajustement est parfait, $R^2=1$.

D) REMARQUES SUR LE CHOIX D'UN MODELE STOCHASTIQUE

Fox (1971) a effectué une analyse comparée des propriétés statistiques des résidus issus de 4 modèles stochastiques. Cet auteur fait remarquer que, lorsque l'objectif est de faire des extrapolations, le meilleur ajustement possible des données à un modèle est obtenu quand les résidus ont une moyenne nulle, une variance constante et sont deux à deux non corrélés. Les modèles étudiés sont les suivants :

modèle 0 : $C_i = \hat{C}_i + \epsilon_{i1}$

La variance résiduelle est constante.

modèle 1 : $C_i = \hat{C}_i + (q \cdot f_i) \cdot \epsilon_{i1}$

L'écart-type résiduel est proportionnel à l'effort de pêche.

modèle 2 : $C_i = \hat{C}_i \cdot \epsilon_{2i}$

Le logarithme de la variance résiduelle est constante.

modèle 3 : $C_i = \hat{C}_i \cdot \epsilon_{3i}$

L'écart-type résiduel est proportionnel à la capture

La comparaison expérimentale de ces modèles a été réalisée d'une part par simulation numérique sur un stock théorique, d'autre part sur les données de la population d'albacore de la région est de l'océan Pacifique. Il ressort de cette étude que les modèles 0 et 1 ne respectent pas l'hypothèse de la constance de la variance résiduelle. Par contre les modèles 2 et 3 ne contredisent pas les hypothèses de départ Enfin le modèle 3 présente un avantage théorique sur le modèle 2. En conclusion, le critère d'ajustement à minimiser devrait être :

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(C_i - \hat{C}_i)}{\hat{C}_i} \right]^2$$

III-1.3.3. Vers une complexification du modèle global

Des modifications portant sur la dynamique de la ressource ont été proposées. Laloé (1990) propose d'ajuster le modèle en admettant une variabilité de la capturabilité. Fox (1975), Ultang (1980) et Laloé (1988) proposent différentes relations pouvant intervenir entre la capturabilité et l'état des stocks. D'autres auteurs ont introduit des informations sur l'environnement, en relation avec la production et la capturabilité. Par exemple, Fréon (1983) introduit, dans la pêcherie de sardinelle du Sénégal, une relation entre la force moyenne des vents et la capturabilité d'une part, et la biomasse vierge d'autre part.

Le modèle de départ qui concerne un seul stock et une seule flottille devrait évoluer pour être adapté au cas général d'une ressource plurispécifique exploitée simultanément par plusieurs flottilles. Les modifications porteront alors sur la dynamique de l'exploitation : pour une même activité nominale il existe plusieurs distributions possibles de l'activité effective qui est, par définition, proportionnelle au taux de mortalité par pêche. Le problème posé est d'arriver à décomposer une activité nominale en activités effectives où chaque composante obéit à un modèle global simple. Des besoins se font jour de plus en plus pour faire évoluer les modèles globaux dans cette direction (Laloé, 1991, Lefur, 1992).

III-1.3.4. Difficultés d'utilisation du modèle global

Le modèle généralisé de Pella - Tomlinson couvre, si on fait varier les paramètres, un ensemble de situations assez vaste pour s'adapter à n'importe quelle série de données. Les hypothèses du modèle ne sont jamais réfutables, et donc l'outil est inefficace. D'où la nécessité de recourir aux connaissances de la biologie de l'espèce pour imposer des contraintes, en particulier sur le paramètre m qui, dans la théorie de Pella - Tomlinson, est lié à la relation stock-recrutement.

L'utilisation du modèle global pose des difficultés pratiques liées à la qualité du plan expérimental non contrôlé par l'expérimentateur : en général les points sont dispersés à l'intérieur d'une fenêtre étroite d'observations. Comment faire alors pour extrapoler les

résultats à l'extérieur de la gamme des valeurs d'effort observées ? La solution consiste à prendre en compte des critères non quantifiables tels que nos connaissances sur l'environnement, la biologie de l'espèce, et l'histoire de la pêcherie. Cette approche de type "système-expert" qui rassemble toutes formes de savoir sur le sujet, quantifiables et non quantifiables, a été appliquée aux modèles globaux par Fréon (1988).

En plus des difficultés décrites précédemment, la brièveté de la série des données disponibles sur l'exploitation du stock de vivaneau rouge (5 ans) viendra compliquer la mise en oeuvre du modèle global. Dans ces conditions, il est illusoire de mener des calculs d'ajustement raffinés. Deux situations seront rencontrées selon que le paramètre q sera connu ou non. S'il ne l'est pas, un simple ajustement visuel sera suffisant pour dégager les principales caractéristiques de l'évolution de la production en fonction de l'effort. Si q est connu par une calibration préalable des variables F et f ($F = qf$), un calcul d'ajustement pourra être alors envisagé.

III-2. ANALYSE STRUCTURALE

Le but principal de la méthode est d'estimer à l'aide d'un modèle prédictif la production et la biomasse féconde du stock de vivaneau rouge lorsque varie le taux F de mortalité par pêche, défini par le rapport, à l'intérieur d'une unité de temps, entre le nombre d'individus capturés et le nombre d'individus présents dans la population. Ce modèle exige que soient connus les paramètres de la population décrivant la croissance, la reproduction et les mortalités naturelle et par pêche. Les données à acquérir seront donc pour chaque classe d'âge l'effectif exploité dans le stock, le taux de mortalité par pêche, le poids moyen et la proportion d'individus matures. Elles serviront à calculer, à l'aide du modèle de Thompson et Bell (1934), la production et la biomasse féconde pour un niveau de recrutement donné. Les calculs seront menés en modifiant le multiplicateur du diagramme d'exploitation qui est supposé constant.

Les paramètres démographiques seront déterminés en suivant l'évolution à des instants successifs des caractéristiques suivantes des cohortes : le nombre d'individus, la taille moyenne et la dispersion des tailles individuelles autour de cette taille moyenne. Pour qu'une population ait des modes bien localisés sur une distribution en taille, il est

nécessaire que le recrutement soit discontinu et assez espacé dans le temps, la règle généralement admise est que l'intervalle de longueur séparant deux modes doit être au moins égal à deux fois l'écart-type de la distribution en tailles d'une cohorte. Si une telle population est échantillonnée à des instants successifs, le déplacement des modes et la diminution des effectifs des cohortes au cours du temps permettront d'estimer à la fois la croissance individuelle moyenne et le taux de survie moyen. Quand il ne sera pas possible de répéter l'échantillonnage, nous verrons comment inférer ces résultats à partir d'une seule distribution en taille, moyennant des hypothèses supplémentaires et des compléments d'information sur la biologie de l'espèce.

Si l'information que l'on peut extraire d'un suivi de cohorte est riche en théorie, la réalisation pratique de ce suivi n'est pas aisée. Les principales difficultés rencontrées seront l'hétérogénéité de la répartition spatio-temporelle des cohortes, la variabilité de la capturabilité avec la taille, la variabilité des taux de croissance et de mortalité, l'aggrégation spatiale des poissons, souvent éphémère, en fonction de la taille et non de l'âge, et enfin le chevauchement des distributions en taille des cohortes âgées de faible effectif.

Par ailleurs, les taux optimaux d'échantillonnage des cohortes varient de façon contradictoire selon que l'on estime la croissance, la mortalité ou le recrutement : pour l'étude de la croissance il est judicieux de favoriser l'échantillonnage des individus de grande taille qui sont rares et de croissance variable; pour estimer la mortalité il est préférable d'échantillonner les tailles les plus nombreuses; enfin pour estimer le recrutement, seul l'échantillonnage des plus petites tailles est nécessaire.

III-2.1. Acquisition des paramètres biologiques nécessaires à l'analyse

Les individus capturés sont débarqués éviscérés et ne présentent pas de dimorphisme sexuel apparent. Il est donc impossible d'obtenir les paramètres recherchés en échantillonnant les captures au débarquement. Pour pallier cet inconvénient, des sorties en mer sont réalisées à bord de navires professionnels. En outre, des données biométriques sont récoltées par pêche expérimentale sur la fraction du stock non capturée par les professionnels.

III-2.1.1. Les campagnes de pêche expérimentale

Deux types d'engins sont utilisés, le chalut de fond et la ligne à main.

A) LES CAMPAGNES AU CHALUT DE FOND

Trois campagnes furent réalisées en juillet 1987, en mai 1989 et en mars 1990 à bord du N.O. "André Nizery"¹ de l'ORSTOM. Les dates et les durées des campagnes ont été choisies en fonction de la disponibilité du navire, qui était déjà occupé à la réalisation d'autres campagnes scientifiques. La première campagne de pêche a donné lieu à une publication des données recueillies (Prévost et al., 1989).

Les deux types de chalut de fond utilisés lors des différentes campagnes sont :

- le chalut de fond type "Picard" utilisé lors de la campagne GV2. La longueur de la corde de dos est de 24m. La maille étirée dans sa partie terminale est de 40mm.
- le chalut 26.2 x 24.2m à grande ouverture verticale utilisée lors des trois campagnes GV2, GV3 et GV4. La maille étirée dans sa partie terminale est de 50mm.

La répartition des traits est différente d'une campagne à l'autre :

- campagne GV2 : les traits sont répartis uniformément de façon à couvrir l'ensemble du plateau continental (Fig. 14).
- campagne GV3 : les traits sont répartis sur des radiales selon un plan voisin de l'échantillonnage systématique (Fig.15).
- campagne GV4 : les traits sont localisés autour de 80m de profondeur, là où une prospection préalable au sondeur a détecté des bancs de poissons (Fig.15).

Après chaque trait, la capture est triée, pesée et dénombrée selon un plan d'échantillonnage adopté par le laboratoire IFREMER de Boulogne/mer au cours des campagnes I.Y.F.S. (International Young Fish Survey), et exposé ci-après :

La pêche est tout d'abord séparée en deux strates, le "hors vrac" qui regroupe les individus remarquables et qui est échantillonné de façon exhaustive, et le "vrac". Ce dernier est réparti dans des paniers qui sont tous pesés. Quelques paniers sont sélectionnés en respectant les règles de l'EAS puis triés par espèce, sexe et catégorie de longueur. C'est le "vrac trié" par opposition au "vrac non trié". La distribution des longueurs d'une espèce est mesurée sur la totalité ou sur un sous-échantillon, en prélevant au hasard quelques paniers dans ceux appartenant à l'espèce sélectionnée. Un exemple de fiche de recueil des données de pêche respectant ce plan d'échantillonnage est donné en annexe 3.

¹ Les caractéristiques générales du navire sont les suivantes :

- longueur hors-tout 24m, largeur 6,5m, tirant-d'eau 3,4m
- moteur principal 400CV, vitesse de croisière 9 noeuds
- armement : chalut de fond, chalut pélagique, équipement pour pêche au thon à la canne

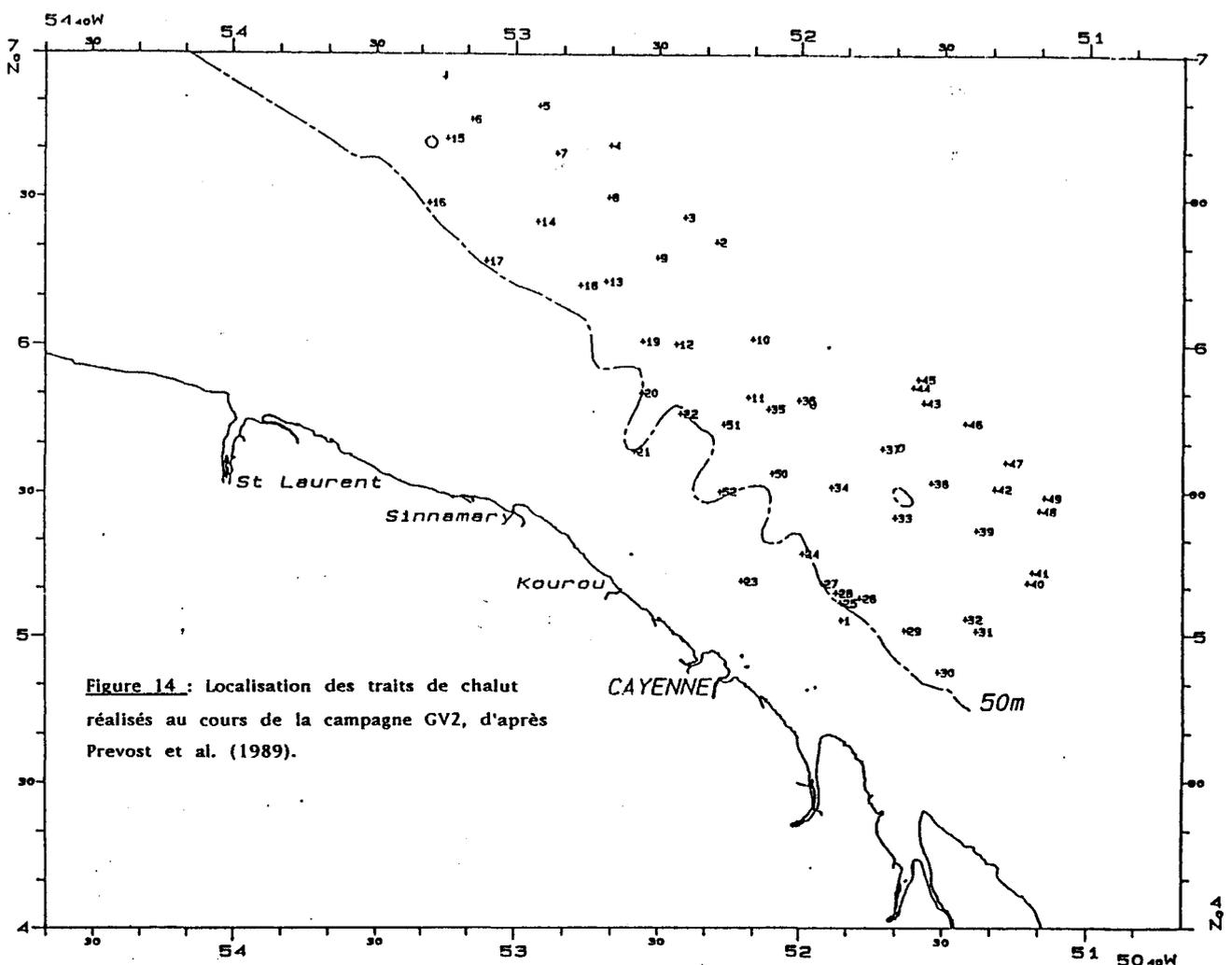
B) LES CAMPAGNES A LA LIGNE A MAIN

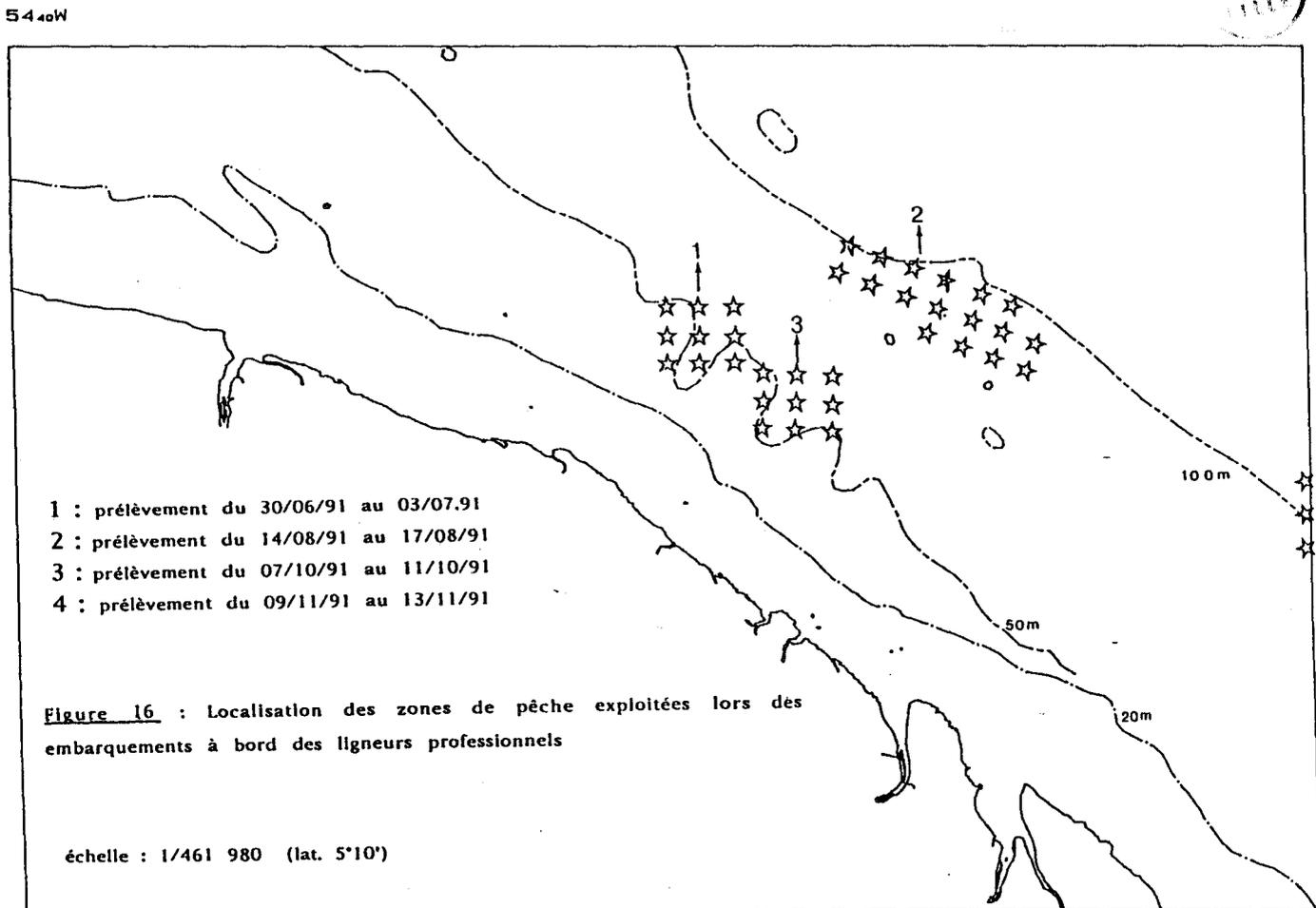
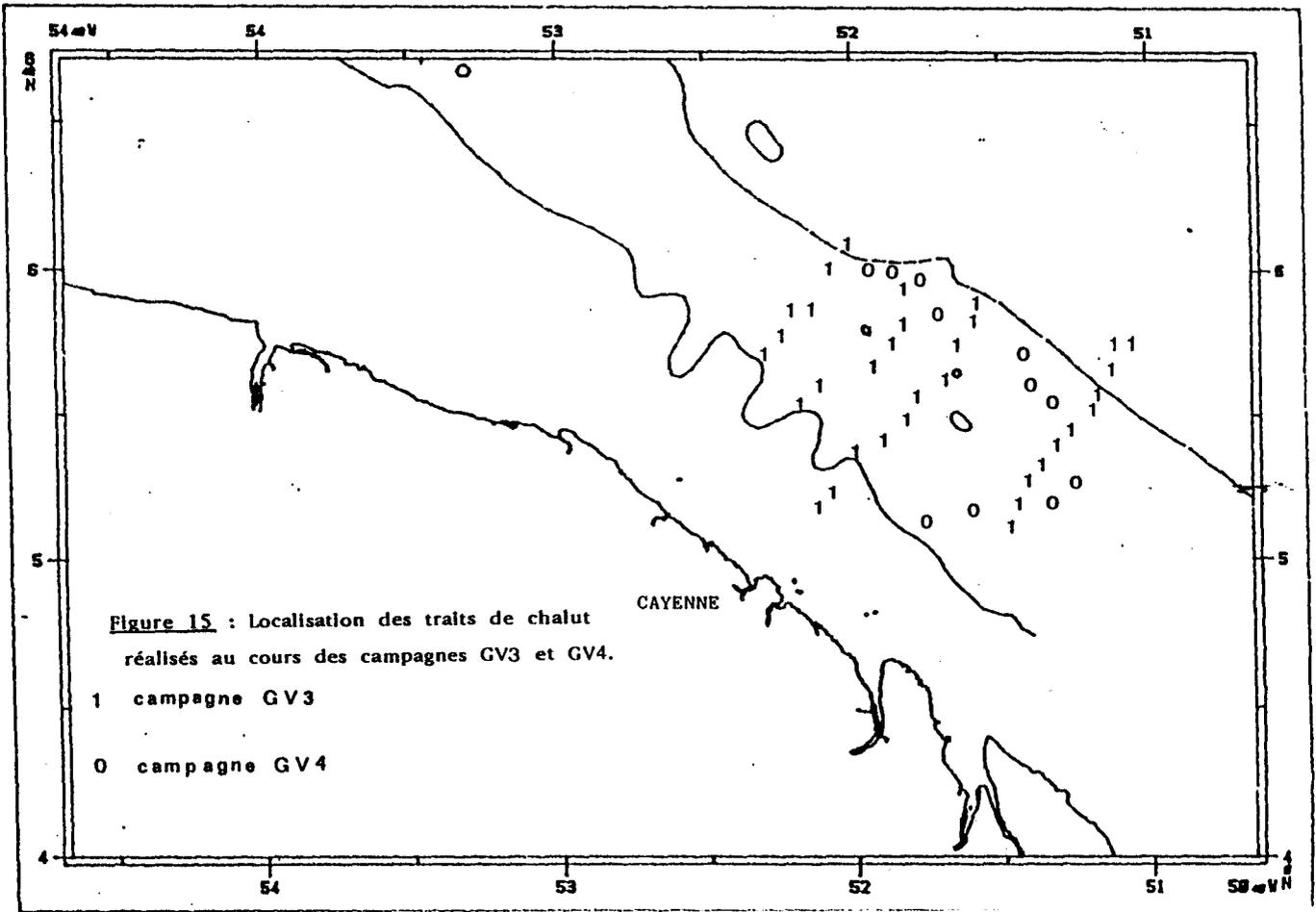
Des embarquements ont eu lieu à bord des ligneurs professionnels. Les scientifiques embarqués ont joué le rôle d'observateurs, sans avoir la possibilité d'influencer le déroulement des opérations de pêche. Ces embarquements d'une durée de 3 à 6 jours ont eu lieu une fois par mois entre juillet et novembre 1991.

N° de campagne	L7	L8	L10	L11
Date de départ	30 06 91	14 08 91	07 10 91	09 11 91
Date de retour	03 07 91	17 08 91	11 10 91	13 11 91
Nom du navire	Dona Lola	Nuevo Arrecife	Dona Noris	Dona Monica

Tab. 5 : Dates des embarquements à bord des ligneurs professionnels.

La technique de pêche a déjà été décrite précédemment dans le chapitre II-2. Les zones de pêche, imposées par les patrons-pêcheurs, sont représentées sur la figure 16. A chaque campagne la capture de vivaneau rouge est analysée de façon exhaustive : dénombrement par sexe, mensurations, observations de l'état de maturité sexuelle et prélèvements des ovaires.





III-2.1.2. Les phénomènes biologiques étudiés

A) SEX-RATIO

Fisher (1958) explique pourquoi, en théorie dans un monde "darwinien", les deux sexes sont produits en nombres égaux dans la nature. Cependant, des sex-ratios déséquilibrés se rencontrent dans les captures et proviennent peut-être de capturabilités différentes chez les mâles et les femelles, notamment au moment de la reproduction.

Il est donc important de déterminer sur quelle sélection du stock la pêche est dirigée.

B) LA REPRODUCTION

On se limitera à déterminer la fraction de la biomasse qui participe à la reproduction, et les périodes de ponte - deux éléments de base pour comprendre la dynamique du stock de vivaneau rouge.

La biomasse féconde dépend de l'âge d'acquisition de la maturité sexuelle. Sa détermination par rapport à la longévité permettra de savoir s'il s'agit d'une espèce à ponte précoce ou tardive et de mieux comprendre sa stratégie reproductrice.

Les saisons de ponte varient, dans les régions tropicales, en nombre et en durée en fonction des conditions de milieu rencontrées. Une même espèce peut présenter soit une ponte étalée sur l'année si le cycle saisonnier du milieu est peu marqué, soit au contraire une ou plusieurs pontes annuelles discontinues. Ce dernier rythme donne lieu à des cohortes bien distinctes et fixe l'intervalle de temps qui sépare deux cohortes successives.

Biomasse féconde et périodes de ponte se déduisent de l'évolution de l'état de maturité sexuelle des ovaires, fonction de la taille des individus et du mois de prélèvement.

L'état de maturité est obtenu par observation visuelle selon l'échelle proposée par Fontana (1979). Cette échelle comporte 7 stades, mais pour faciliter l'exposé des résultats nous n'en retiendrons que trois : repos, maturité et ponte. Cette analyse qualitative est complétée par la mesure du rapport gonado-somatique (RGS), rapport du poids des ovaires au poids du corps éviscéré.

L'état de maturité des ovaires est observé de façon exhaustive sur l'ensemble des individus capturés. Les ovaires sont prélevés en mer selon un taux de 5 individus par classe de taille. Leur pesée est faite au laboratoire et le poids des individus est estimé à partir de la relation taille/poids établie par Tous (1988).

C) LA CROISSANCE

- **Modèle de croissance de Von Bertalanffy** : C'est le modèle le plus couramment utilisé en halieutique. Les équations sont les suivantes :

- croissance pondérale : $W_t = W_\infty \cdot [1 - e^{-K(t-t_0)}]^n$

avec n = indice d'allométrie de la relation taille/poids : $W_t = a \cdot L_t^n$

- croissance linéaire : $L_t = L_\infty \cdot [1 - e^{-K(t-t_0)}]$

Bien que Von Bertalanffy ait justifié son modèle par des considérations métaboliques, il est préférable de le voir comme un modèle descriptif, et prudent de ne pas attribuer trop de signification biologique aux paramètres K , t_0 et L_∞ qui ne font que résumer l'ensemble des données disponibles. t_0 correspond à l'âge théorique auquel la longueur et le poids sont nuls. K est l'inverse d'un temps. L_∞ et W_∞ sont respectivement la longueur et le poids asymptotiques atteints par un individu après une durée de vie infinie.

La corrélation entre les paramètres K et L_∞ ou W_∞ est forte et négative (l'ordre de grandeur du facteur de corrélation est de -0,90). Diverses combinaisons de valeurs de ces paramètres conduisent donc à la même courbe de croissance. De plus, cette colinéarité entraîne une imprécision d'estimation des paramètres due à une "inflation de la variance" (Tomassone, 1983).

La croissance moyenne des différentes cohortes qui constituent la population de vivaneau rouge s'obtient par la mesure des tailles moyennes des effectifs aux âges successifs. Pour localiser ces derniers, deux types de méthodes sont à notre disposition : la détermination directe de l'âge par l'observation de pièces squelettiques et l'analyse modale de distributions en taille.

- **Difficultés de lecture des pièces squelettiques** : les anneaux de croissance différentielle des pièces squelettiques de vivaneau rouge existent. Ils sont caractérisés par leur largeur et leur composition chimique, bien discernables par micro-radiographie et analyse d'image, mais sont flous et ininterprétables à l'aide d'une simple loupe binoculaire. Les anneaux larges et opaques sont composés de cristaux d'aragonite. Les anneaux étroits et hyalins sont composés surtout d'une protéine fibreuse appelée otoline. Ils mettent en évidence des événements de la vie du poisson correspondant à des périodicités différentes. Dans l'état de nos connaissances, une compréhension du schéma de croissance (périodicité, discontinuité) des pièces squelettiques de vivaneau rouge devrait être entreprise avant de passer à des déterminations d'âge en routine.

Dans les régions tropicales il existe plusieurs types d'anneaux correspondant à des périodicités différentes. Il y a tout d'abord une croissance saisonnière, en particulier dans les régions où les eaux douces arrivent périodiquement en grande quantité. Dans un tel milieu, Poinard et Troadec (1966), par exemple, ont mis en évidence chez deux espèces de Sciaenidae ouest africain, deux anneaux saisonniers de faible croissance et deux anneaux saisonniers de forte croissance. Cette bisaisonnalité fut confirmée par Le Guen (1976).

A l'intérieur des plages saisonnières, les anneaux se regroupent fréquemment par paquets de 6 à 8 anneaux larges suivis de 6 à 8 anneaux étroits, mettant en évidence un schéma de croissance bihebdomadaire et mensuel (Pannella, 1974 et 1980).

Pannella (1971) a aussi pour la première fois mis en évidence un rythme circadien de formation de microstries. Puis des anneaux journaliers ont été observés chez d'autres espèces de poissons (Le Guen 1976, Ralston et Miyamoto 1983, Caillard et Morize 1990, etc.).

Enfin des discontinuités de croissance des otolithes signalent des événements singuliers de la vie du poisson, par exemple un changement d'habitat. Lorsqu'elles sont placées aux mêmes endroits sur les otolithes d'individus d'une même espèce, elles suggèrent la présence d'évènements physiologiques asynchrones, comme l'apparition de la première maturité sexuelle. Une origine environnementale est repérable quand une discontinuité est observée simultanément chez plusieurs espèces d'une même communauté.

- **Analyse modale des distributions en taille** : Ces difficultés d'âgeage sont contournées en utilisant une autre famille de méthodes connue sous le nom de méthode de Petersen (1891). Elle recherche les modes correspondant aux différentes cohortes sur la distribution en longueurs des captures. Cette méthode est efficace tant que la variabilité individuelle de croissance à l'intérieur d'une cohorte est inférieure à la différence de longueur séparant deux modes successifs. Si les cohortes se télescopent, la méthode est inutilisable. C'est le cas en général pour les individus adultes du vivaneau rouge ; en revanche, chez les juvéniles, le taux de croissance est suffisamment rapide et la variabilité individuelle de croissance assez faible pour que l'on puisse discerner les modes.

D) PRINCIPALES METHODES D'ANALYSE DES DISTRIBUTIONS EN TAILLE EN VUE D'ESTIMER LES PARAMETRES DE CROISSANCE

Une distribution de fréquences en taille d'une population de poissons est la résultante de nombreux facteurs qui agissent simultanément. Ces facteurs sont la croissance, le recrutement, la mortalité naturelle, la mortalité par pêche, la sélectivité de l'engin de pêche, et la méthode d'échantillonnage utilisée. Ils varient plus ou moins fortement entre les âges, les années et les individus, et ces variations peuvent jouer un rôle essentiel dans la constitution d'une distribution en taille.

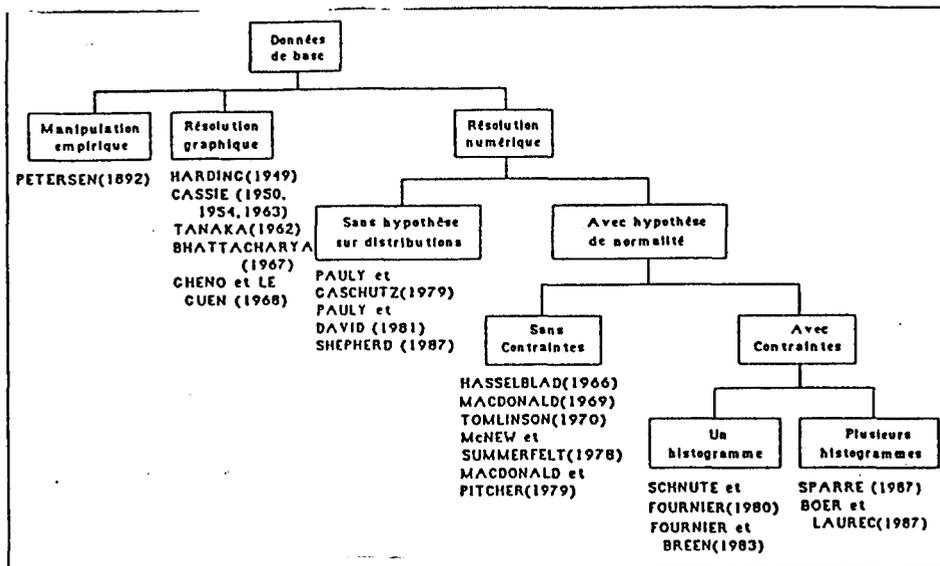
Cette multitude de facteurs entraîne deux conséquences. Premièrement, la fréquente disparition d'une partie de l'information, qui devient cachée et inaccessible à l'analyse. Par exemple, une période de recrutement étendue sur l'année et une variabilité individuelle de croissance forte peuvent faire disparaître la structure modale d'une distribution en taille. Deuxièmement, les méthodes d'analyse réduisent cette complexité en utilisant des hypothèses simplificatrices sur une ou plusieurs variables.

Deux familles de méthodes sont disponibles. Certaines méthodes décomposent une distribution polymodale en distributions unimodales successives. D'autres s'intéressent à l'analyse de la moyenne et de la variance de chaque distribution.

D-1) METHODES BASEES SUR LE DEPLACEMENT DES MODES

Considérons une population constituée de plusieurs cohortes, chaque cohorte étant associée à un mode sur une distribution en taille. Pour estimer la croissance linéaire il faudra connaître la position des modes correspondant à ces différentes cohortes. L'analyse d'un ensemble de distributions permettra de suivre le déplacement de ces modes au cours du temps. Cette méthode, utilisée pour la première fois par Petersen en 1892, laisse l'utilisateur estimer à vue la valeur des modes. Depuis, d'autres méthodes plus rigoureuses ont vu le jour. Elles se subdivisent en deux groupes selon que l'on utilise des méthodes de résolution graphique ou des méthodes de résolution numérique.

Le schéma ci-dessous, extrait de la thèse de Boer (1988), récapitule les méthodes existantes :



D-1.1) Méthodes graphiques

Les données sont représentées dans un repère gaussio-arithmétique tel que les points ayant pour coordonnées les tailles d'une part, et les fréquences relatives cumulées d'autre part, sont alignés lorsque la distribution est normale. Cette droite est appelée droite de Henry. Lorsque la population est constituée d'un mélange de composantes gaussiennes, les points transformés représentent autant de droites - avec pentes négatives - qu'il y a de composantes. Ces méthodes permettent de séparer les composantes gaussiennes et de déterminer pour chacune d'elles la moyenne, la variance et l'effectif (Harding, 1949, Cassie, 1950, 1954, 1963). La méthode que nous avons utilisée est celle de Bhattacharya (1967), mise en œuvre dans le programme informatique BATA développé par Koutsikopoulos et Dorel (1989).

Gheno et Le Guen (1968) ont remplacé l'hypothèse de normalité de la distribution en taille d'une cohorte par l'hypothèse plus simple et plus générale de symétrie des longueurs par rapport à la moyenne. Cette méthode, dite des maximums successifs, fut reprise récemment par Le Guen et Morizur (1989). Ces auteurs concluent que l'application de cette méthode est conseillée en l'absence de certitude sur la normalité des composantes d'une distribution polymodale. Alors, en se servant du premier maximum qui apparaît dans la distribution de fréquence totale et de la propriété de symétrie, on détermine une nouvelle distribution qui n'est autre que la distribution totale dont on a retranché une distribution unimodale symétrique. De proche en proche on décompose ainsi la distribution polymodale en distributions unimodales successives.

L'analyse d'échantillons collectés à des dates différentes se déroule en trois étapes :

- identification graphique des composantes et de leurs caractéristiques ;
- détermination visuelle de la progression modale dans les histogrammes successifs ;
- estimation des paramètres de l'équation de Von Bertalanffy.

D-1.2) Méthodes d'optimisation numérique sans hypothèse de normalité

- Méthode ELEFAN (Pauly, 1981, 1987)

C'est une méthode non paramétrique qui utilise un ou plusieurs échantillons collectés à des dates différentes. Pour chaque couple de valeurs exploratoires des paramètres de l'équation de Von Bertalanffy et pour chaque date correspondant à une distribution en taille, les modes théoriques aux âges sont calculés. Certains modes théoriques coïncident avec les modes observés. La technique consiste à déterminer les paramètres L_{∞} et K qui maximisent le nombre de modes expliqués. L'ajustement est réalisé par l'intermédiaire d'un coefficient R égal au rapport du nombre de modes expliqués sur le nombre de modes disponibles.

Cette procédure est affinée par deux opérations préalables de lissage des données. La première opération correspond à un lissage par une moyenne mobile sur cinq classes de taille dans le but de faire disparaître les pics secondaires correspondant à de simples aléas d'échantillonnage. La deuxième opération consiste à réaliser une autre moyenne mobile sur un plus grand nombre d'intervalles de façon à enlever la tendance générale de l'évolution des effectifs selon la longueur.

Cette méthode, très utilisée, donne beaucoup de place à la subjectivité de l'utilisateur. La première étape - le réarrangement des données - est une procédure empirique qui manque de justification théorique. La deuxième étape est moins subjective qu'une méthode graphique mais reste encore arbitraire, car la réponse est faite de plusieurs courbes de valeurs maximales, et l'utilisateur doit décider des limites de l'intervalle d'exploration des paramètres : les choisir trop étroites peut conduire à éliminer la vraie valeur. A l'opposé, si les limites sont trop larges, on ne sera plus quel maximum choisir - la valeur recherchée n'est pas toujours égale à la plus grande valeur trouvée de la fonction objectif.

- Méthode de SHEPERD (1987)

C'est également une méthode non paramétrique de détermination des paramètres de croissance de l'équation de Von Bertalanffy, qui repose sur l'analyse de la structure polymodale de une ou plusieurs distributions de taille.

L'utilisateur fournit en entrée les bornes d'intervalles d'exploration des valeurs possibles des paramètres K et L_{∞} . Pour chaque combinaison de valeurs de ces deux paramètres, la méthode calcule le score d'une fonction objectif qui mesure le degré de

concordance entre les modes expérimentaux et les modes théoriques : plus le score est élevé, meilleure est la corrélation entre les classes modales théoriques et observées. D'autre part la valeur de t_0 est conditionnée par celles des deux autres paramètres. Ainsi l'exploration, qui devait se faire en trois dimensions, se réduit à une analyse de surface à t_0 fixé, où seuls K et L_∞ varient.

En sortie, la méthode fournit les scores de la fonction objectif et laisse à l'utilisateur le soin de choisir la meilleure combinaison des paramètres K et L_∞ , en s'appuyant à la fois sur les variations de score lorsque varient ces deux paramètres et sur d'autres formes de connaissance sur la biologie de l'espèce.

Définition de la fonction objectif

La conversion d'une longueur L en un temps t est donnée par l'équation suivante (Von Bertalanffy) :

$$t = \frac{1}{K} \cdot \ln \left(\frac{L_\infty - L_0}{L_\infty - L} \right)$$

avec
$$L_0 = L_\infty \cdot (1 - \exp(-K \cdot t_0))$$

Pour une classe de longueur L dont les limites supérieures et inférieures correspondent aux âges t_{\max} et t_{\min} , on s'intéresse à l'âge moyen $\bar{t} = \frac{t_{\min} + t_{\max}}{2}$

La fonction test T définie par l'auteur est choisie de telle sorte qu'elle soit maximale et positive à proximité des longueurs modales théoriques et maximale et négative autour des longueurs intermodales. La fonction de base retenue est la fonction sinusoïdale $\cos(2 \cdot \pi \cdot (\bar{t} - t_s))$, t_s étant la saison à laquelle est observée la distribution en taille. A cette fonction est rajoutée un coefficient de diffraction qui prend en compte le nombre et l'emplacement des modes dans chaque intervalle - ce coefficient devient petit s'il y a plus d'un mode dans l'intervalle. La fonction test sur un intervalle est donc :

$$T_L = \frac{\sin \pi \cdot (t_{\max} - t_{\min})}{\pi \cdot (t_{\max} - t_{\min})} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot (\bar{t} - t_s))$$

L'effectif observé N_L par classe de taille suit, en général, une loi de poisson. La transformation $\sqrt{N_L}$ normalise la distribution et rend la variance indépendante de la moyenne, aux fluctuations aléatoires près. La fonction test dans chaque intervalle est alors le produit $T_L \cdot \sqrt{N_L}$.

La fonction objectif S proposée par Sheperd permettant de quantifier la qualité de l'ajustement est construite en sommant le produit précédent sur l'ensemble des classes de taille L des distributions i :

$$S = \sum_i \sum_L T_{i,L} \cdot \sqrt{N_{i,L}}$$

Sheperd montre - en raison de la périodicité de T_L en t_0 - qu'il est possible de déterminer pour chaque couple de valeurs de K et L la valeur de t_0 qui maximalise la fonction S . Si A représente la valeur de S pour $t_0 = 0$ et si B représente la valeur de S pour $t_0 = 0,25$, Sheperd détermine que :

$$S_{\max} = (A^2 + B^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{et } t_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \arctan\left(\frac{B}{A}\right)$$

- Avantages et inconvénients

Du fait de la corrélation forte et négative entre les deux paramètres, la solution sera localisée le long d'une courbe de valeurs maximales de la fonction objectif. Plusieurs couples de valeurs restent également probables, la position d'un paramètre déterminant la position de l'autre. La méthode a tendance à produire plusieurs courbes de valeurs maximales. La valeur correcte n'est pas toujours localisée sur l'isopète de plus haute valeur, mais peut apparaître sur la deuxième, voire la troisième courbe. L'interprétation peut être délicate sans autre source d'information.

Chevaillier (1990) a testé les limites de la méthode sur des distributions simulées, en faisant varier la variabilité individuelle de croissance (5 % et 1 %) et la durée de la période de prélèvement (mois et trimestre). Lorsque la variabilité individuelle de croissance est faible, la courbe de croissance obtenue est voisine de la courbe théorique. En revanche, lorsque la variabilité individuelle de croissance augmente, on constate une sous estimation de L_{∞} , associée à une forte surestimation de K . L'adéquation entre courbes théorique et estimée n'est satisfaisante que dans la partie médiane de la courbe. Ces biais augmentent lorsque les données sont regroupées par trimestre. Ainsi la méthode est très sensible à la variabilité individuelle de croissance.

Enfin, la fonction objectif S tient compte que des valeurs absolues obtenues, puisque $S_{\max} = (A^2 + B^2)^{\frac{1}{2}}$. Cela a pour effet de lisser mais aussi de biaiser les résultats finaux.

D-1.3) Méthodes d'optimisation numérique avec hypothèse de normalité

L'analyse statistique de la décomposition d'une distribution en taille en une somme de composantes normales, de nombre connu, a été abordée par Hasselblad (1966) et a donné naissance au programme informatique NORMSEP. Cette méthode estime par une approximation de la vraisemblance maximale la moyenne, la variance et l'effectif de chacune des composantes. En réalité, le résultat est statistiquement imprécis car il existe une quasicolinéarité. Cette indétermination peut être réduite en imposant des contraintes. Il est ainsi possible d'imposer une contrainte sur les moyennes, une contrainte sur les variances des tailles aux âges, et enfin une contrainte sur les proportions des différents groupes d'âge. C'est la procédure suivie par Schnute et Fournier (1980), reprise par Boer et Laurec (1987), puis par Fournier et al. (1989) qui ont généralisé la méthode au cas de plusieurs distributions (ou histogrammes) prélevées à des dates différentes.

Pour l'application de la méthode, trois logiciels ont été développés par Sparre (1987), Boer (1988) (FREQUEN et COLVAR), et Fournier et al. (1989) (MULTIFAN). Boer fait une synthèse des fonctions objectifs et des contraintes utilisées par ces programmes. Le seul logiciel accessible et opérationnel était MULTIFAN. C'est pourquoi nous limiterons notre exposé à la présentation de la fonction objectif et des contraintes utilisées par ce dernier programme.

Notations :

Chaque histogramme h ($h=1, \dots, N_H$) comporte plusieurs sous-populations j ($j = 1, \dots, N_j$), N_j est le nombre de sous-populations ou cohortes dans l'histogramme h . Le nombre de groupes d'âge par histogramme est supposé connu et ne pas varier. i est un indice de classe de taille et varie de 1 à N_p , quelque soit l'histogramme considéré. Chaque cohorte est caractérisée par sa moyenne μ_{hj} et sa variance σ_{hj}^2 . p_{hj} est la proportion de la cohorte j dans la distribution h . Les paramètres p_{hj} peuvent être réduits à $N_j - 1$ inconnues puisque $\sum_{j=1}^{N_j} p_{hj} = 1$

f_{hi} est la fréquence absolue observée de poissons de taille i dans la distribution h .

Q_{hi} est la probabilité pour qu'un poisson tiré au hasard de l'échantillon h (composé de S_h poissons) appartient à la classe de taille i .

\widetilde{Q}_{hi} est la proportion observée de poissons appartenant à la classe de taille i dans l'échantillon h .

Définition de la fonction objectif du programme MULTIFAN

Chaque variable Q_{hi} dépend du modèle choisi et de la valeur des paramètres $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_r)$. Elle s'écrit $Q_{hi}(\theta)$. La probabilité d'obtenir les fréquences observées f_{hi} est égale à l'expression :

$$\prod_{h=1}^{N_H} \prod_{i=1}^{N_I} Q_{hi}(\theta)^{f_{hi}}$$

L'estimation du maximum de vraisemblance des paramètres θ est obtenue en maximisant l'expression précédente ou, de façon équivalente, le logarithme de cette fonction :

$$\sum_{h=1}^{N_H} \sum_{i=1}^{N_I} f_{hi} \cdot \ln(Q_{hi}(\theta))$$

Les aléas d'échantillonnage font que l'on rencontre souvent des individus appartenant ou bien à des classes de taille extrêmes, ou bien à des classes de taille courantes mais dont les fréquences observées sont éloignées des fréquences théoriques. La technique du maximum de vraisemblance est sensible à ces anomalies, et pour qu'elle soit robuste, deux modifications ont été apportées.

La première concerne l'adjonction d'une limite inférieure à la variance. En effet, les valeurs observées \widetilde{Q}_{hi} (dans un échantillon de taille S_h) ont pour moyenne, par définition, Q_{hi} et pour variance $(1 - Q_{hi}) \cdot Q_{hi} / S_h$. Cette variance peut être scindée en deux parties : $E_{hi} = (1 - Q_{hi}) \cdot Q_{hi}$, appelée variance relative, et S_h facteur d'échelle. On considère alors que la variance est égale à $(E_{hi} + 0,1 / N_I) \cdot \tau_h$. Le terme $0,1 / N_I$ évite que la variance relative tende vers 0 lorsque Q_{hi} tend vers 0. Le terme τ_h remplace le facteur d'échelle. Il y a plusieurs possibilités de choisir τ_h de façon à moduler l'importance relative que l'on souhaite donner aux différents histogrammes.

Dans ces conditions, si les \widetilde{Q}_{hi} sont supposées être des variables indépendantes et distribuées normalement, la fonction de vraisemblance s'écrit :

$$\prod_{h=1}^{N_H} \prod_{i=1}^{N_I} \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot \left(\xi_{hi} + \frac{0,1}{N_I}\right) \cdot \Gamma_h}} \cdot \exp \left\{ - \frac{(\widetilde{Q}_{hi} - Q_{hi})^2}{2 \cdot \left(\xi_{hi} + \frac{0,1}{N_I}\right) \cdot \Gamma_h^2} \right\} + 0,01 \right]$$

La constante 0,01 correspond à la deuxième modification annoncée. Elle assure que l'influence des observations éloignées de plus de 3 écarts-types de la moyenne sur l'estimation des paramètres décroît rapidement.

Le logarithme de la fonction de vraisemblance s'écrit alors :

$$-\frac{1}{2} \cdot \sum_{h=1}^{N_{II}} \sum_{l=1}^{N_I} \ln 2\pi \cdot \left(\xi_{hl} + \frac{0,1}{N_I} \right) - \sum_{h=1}^{N_h} N_{Ih} \cdot \ln(\Gamma_h) - \sum_{h=1}^{N_{II}} \sum_{i=1}^{N_I} \ln \left[\exp \left\{ -\frac{(\tilde{Q}_{hi} - Q_{hi})^2}{2 \cdot \left(\xi_{hi} + \frac{0,1}{N_I} \right) \cdot \Gamma_h^2} \right\} + 0,01 \right]$$

Les paramètres recherchés sont estimés en maximisant cette expression.

Remarque : q_{hij} représente la probabilité qu'a un poisson de l'échantillon h d'appartenir à la classe de taille i et à la classe d'âge j . Etant donné que les distributions des tailles aux âges suivent des fonctions de Gauss, q_{hij} peut être exprimé par :

$$q_{hij}(\mu_{hj}, \sigma_{hj}) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{hj}}} \cdot \int_{x_i - \frac{w}{2}}^{x_i + \frac{w}{2}} \exp \left\{ -\frac{(x - \mu_{hj})^2}{2 \cdot \sigma_{hj}^2} \right\} dx$$

w est égal à l'intervalle d'une classe de taille et x_i au milieu de la classe de taille i .

Tant que $\sigma_{hj} > w$, l'expression précédente peut être approchée par :

$$q_{hij}(\mu_{hj}, \sigma_{hj}) = \frac{w}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_{hj}}} \cdot \exp \left\{ -\frac{(x - \mu_{hj})^2}{2 \cdot \sigma_{hj}^2} \right\}$$

C'est cette approximation qui est utilisée dans le modèle.

Les principales hypothèses du modèle MULTIFAN

Le nombre d'inconnues est égal à $(3N_I - N_{II})$. Nous allons les réduire en faisant deux hypothèses.

1) **La première hypothèse** (ou contrainte) porte sur l'emplacement des modes et leur déplacement selon l'équation de croissance de Von Bertalanffy. Cette équation est utilisée après un reparamétrage du triplet (L_∞, K, t_0) en (m_1, m_N, k) (Schnute et Fournier, 1980) :

$$\mu_{hj} = m_1 + (m_N - m_1) \cdot \left(\frac{1 - \rho^{j + \frac{(m(h)-1)}{12}}}{1 - \rho^{N_j}} \right)$$

avec m_1 et m_N , respectivement les longueurs moyennes des première et dernière classes d'âge, ρ un coefficient de croissance tel que $K = -\ln(\rho)$, et $m_h - 1$ le nombre de mois après la date de naissance.

2) La deuxième contrainte porte sur les écarts-types, considérés comme étant fonction de la longueur :

$$\sigma_{hj} = \lambda_1 \cdot \exp \left\{ \lambda_2 \left[-1 + 2 \left(\frac{1 - \rho^{j + \frac{m(h)-1}{12}}}{1 - \rho^{Nj}} \right) \right] \right\}$$

λ_1 détermine l'amplitude des écarts-types, et λ_2 la dépendance avec la longueur. Si $\lambda_2 = 0$, les écarts-types sont indépendants de la longueur.

La fonction objectif comporte donc les paramètres à estimer suivants pour $j = 1, \dots, N_j$:

$$p_{hj}, m_1, m_N, K, \lambda_1, \lambda_2 \text{ et } \delta$$

Notons que :

$$Q_{hi} = \sum_{j=1}^{N_j} p_{hj} \cdot q_{hij}$$

Les étapes de calcul des paramètres du modèle sont les suivantes :

- calcul des σ_{hj} à l'aide des paramètres λ_1, λ_2 et ρ ;
- calcul des μ_{hj} à l'aide de m_1, m_N et ρ ;
- calcul des q_{hij} à l'aide de μ_{hj} et σ_{hj} ;
- calcul des Q_{hi} à l'aide de q_{hij} et p_{hi} .

Une approximation de la matrice de covariance est calculée à partir de l'inverse de la matrice des dérivées secondes du logarithme de la fonction de vraisemblance.

D-1.4) Conclusion : intérêts et limites des méthodes d'analyse modale

Les méthodes d'analyse des distributions polymodales sont efficaces tant que la variabilité individuelle de croissance à l'intérieur d'une cohorte est inférieure à la différence de longueur séparant deux modes successifs. Si les distributions en taille des cohortes se télescopent, les modes ne seront plus visibles dans la distribution globale et la méthode sera inutilisable. Selon Behboodian (1970), une condition suffisante pour distinguer deux composantes dans un mélange de deux distributions peut s'écrire :

$$|\mu_1 - \mu_2| \geq 2 \min(\sigma_1, \sigma_2)$$

où μ_1, μ_2 et σ_1, σ_2 sont respectivement les moyennes et les écarts-types des deux distributions.

Donc, lorsque les modes sont visibles sur les distributions globales, deux familles de méthodes sont à notre disposition pour les analyser, les méthodes graphiques et les méthodes numériques. Les méthodes graphiques dépendent des choix de l'utilisateur. L'influence de cette subjectivité sera grande quand la structure modale sera floue. C'est leur point faible par rapport aux méthodes numériques qui procèdent par maximisation d'une fonction objectif. En revanche, ces dernières utilisent des procédures itératives qui convergent d'autant plus vite que les valeurs initiales seront proches des vraies valeurs. C'est pourquoi les méthodes de résolution graphiques seront utilisées au préalable pour obtenir un ensemble d'estimateurs qui pourront ensuite être optimisés par une méthode numérique. Parmi ces dernières, les méthodes non paramétriques apparaissent, aujourd'hui, quelque peu arbitraires et sans bases théoriques comparées aux méthodes statistiques qui sont utilisables maintenant sur la plupart des micro-ordinateurs.

D-2) METHODES BASEES SUR D'AUTRES DESCRIPTEURS STATISTIQUES QUE LES MODES

Ces méthodes sont connues sous les appellations de Powell (1979) et de Wetherall et al. (1985). Elles donnent une estimation jointe de L_∞ et de $\theta = Z/K$. La méthode de Powell repose sur la détermination de la moyenne et de la variance de la distribution. Celle de Wetherall est plus exigeante, puisque doit être connue, à chaque classe de taille, la longueur moyenne des poissons dont la taille est supérieure à la classe considérée.

Considérons une distribution de fréquences de longueur et supposons qu'à la longueur L_{100} , qui est la longueur de pleine sélectivité de l'engin de pêche, le recrutement ait déjà eu lieu. Supposons aussi que la courbe de croissance est définie par l'équation de Von Bertalanffy avec K et L_∞ comme paramètres de croissance. Alors, la fonction de distribution de fréquences en longueur s'écrit d'après Wetherall (1985) :

$$G_L = 1 - \left[\frac{L_\infty - L}{L_\infty - L_{100}} \right]^{\frac{Z}{K}}$$

Ce modèle suppose que la courbe de sélectivité est en lame de couteau, et qu'au-dessus de la longueur L_{100} , le coefficient Z est constant.

D-2.1.) Estimateurs de Powell (1979)

L_m et s^2 représentent respectivement la longueur moyenne et la variance de la distribution des tailles. Dans ce contexte, Powell (1979) considère que L_∞ est une variable aléatoire α avec L_m comme valeur moyenne et σ_α^2 comme variance. L'estimateur de Z/K est donné par :

$$\frac{Z}{K} = \frac{2 \cdot S^2}{(L_m - L_{100})^2} - S^2$$

En faisant l'hypothèse que σ_α^2 est négligeable comparée à $(L_\infty - L_{100})^2$, on obtient l'estimateur suivant de L_∞ :

$$L_\infty = L_m + \frac{Z}{K} \cdot (L_m - L_{100})$$

D-2.2.) Estimateurs de Wetherall (1985)

Wetherall (1985) linéarise une distribution cumulée de fréquences de longueur. Soit donc, dans l'intervalle $(L_{100}, \dots, L_\infty)$, une séquence croissante de classes de taille (w_1, \dots, w_m). L_{mj} est la longueur moyenne des n_j poissons dont la longueur dépasse w_j . L'espérance mathématique est égale à :

$$E(L_{m(j)}) = L_\infty \cdot \frac{1}{1 + \theta} + w_j \cdot \frac{\theta}{1 + \theta}$$

pour $j = 1, \dots, m$
soit : $L_{mj} = \alpha + \beta w_j + \varepsilon_j$

C'est un modèle de régression linéaire dans lequel ε_j est un résidu (inexpliqué par le modèle) de moyenne nulle et de covariance égale à la matrice (A). Les estimateurs de θ et L_∞ sont donnés par :

$$\theta = \frac{\beta}{1 - \beta}$$

$$L_\infty = \frac{\alpha}{1 - \beta}$$

D-2.3.) Conclusion : intérêt de ces méthodes

Ces méthodes présentent l'avantage de pouvoir être utilisées lorsqu'on ne peut pas individualiser de groupes d'âge dans une distribution en taille. Elles reposent sur des hypothèses restrictives : équilibre du stock, constance de la mortalité, variabilité individuelle de croissance connue (Powell) ou négligeable (Wetherall).



Si la variabilité individuelle de croissance est faible, la méthode de Wetherall peut être appliquée sous réserve de fixer une limite supérieure de taille au delà de laquelle la variabilité de L_{∞} se fait sentir. Cela limite fortement le nombre de cas favorable à l'application de la méthode. Quand à la méthode de Powell, elle ne peut être appliquée que si le coefficient de variation de L_{∞} est connu. Comme c'est rarement le cas, on est contraint de faire des hypothèses sur la valeur de ce paramètre.

Enfin, dans les deux méthodes, l'hypothèse de la constance de la mortalité en fonction de la longueur est rarement respectée. Les résultats doivent donc être interprétés avec beaucoup de prudence.

III-2.2 Estimation des distributions en taille des captures annuelles

III-2.2.1. Présentation du problème

Tous les ligneurs exploitent les différentes classes de taille dans les mêmes proportions : ils appartiennent donc tous à un même "métier" selon la définition de Anon (1987) ².

La composition en taille des captures varie, à l'intérieur d'une année, en raison des déplacements saisonniers tant des poissons que des bateaux. La base temporelle retenue est le trimestre. La zone de pêche est, rappelons-le, circonscrite au plateau continental guyanais.

Au débarquement, les poissons sont regroupés en fonction de leur taille. Il est nécessaire à la fois 1) de tenir compte de la structure existante (marées, caisses de débarquement, catégories commerciales et cartons d'emballage) pour réaliser un tirage au hasard dans les différents éléments structuraux et 2) de faire des hypothèses simplificatrices.

III-2.2.2. Choix et justification de la procédure d'échantillonnage à terre

Au port, la capture des bateaux est déchargée pêle-mêle et acheminée par camion vers l'atelier de transformation (Fig.17), où les vivaneaux sont triés en catégories de taille, congelés, puis rangés dans des cartons d'emballage et commercialisés. Chaque transformateur a ses propres normes de tri.

² Combinaison d'engin, d'espèces-cibles, de secteurs et de saisons dans lesquels une matrice de capturabilité peut être déterminée.

Soit des couples de longueur L_1 et L_2 observées à deux instants successifs t_1 et t_2 . Si on porte en abscisses les points $\frac{L_1 + L_2}{2}$ et en ordonnée les points $\frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1}$ on obtient une droite de pente = - k qui coupe l'axe des abscisses au point L_∞ .

Cette méthode, comparée à la première, présente deux avantages : elle n'exige pas la mesure des tailles à des intervalles de temps égaux, et l'angle d'intersection de la première bissectrice avec la droite de Ford-Walford est en général trop aigu pour estimer précisément L_∞ .

III-2.2 Estimation des distributions en taille des captures annuelles

III-2.2.1. Présentation du problème

Tous les ligneurs exploitent les différentes classes de taille dans les mêmes proportions : ils appartiennent donc tous à un même "métier" selon la définition de Anon (1987) ².

La composition en taille des captures varie, à l'intérieur d'une année, en raison des déplacements saisonniers tant des poissons que des bateaux. La base temporelle retenue est le trimestre. La zone de pêche est, rappelons-le, circonscrite au plateau continental guyanais.

Au débarquement, les poissons sont regroupés en fonction de leur taille. Il est nécessaire à la fois 1) de tenir compte de la structure existante (marées, caisses de débarquement, catégories commerciales et cartons d'emballage) pour réaliser un tirage au hasard dans les différents éléments structuraux et 2) de faire des hypothèses simplificatrices.

III-2.2.2. Choix et justification de la procédure d'échantillonnage à terre

Au port, la capture des bateaux est déchargée pêle-mêle et acheminée par camion vers l'atelier de transformation (Fig.17), où les vivaneaux sont triés en catégories de taille, congelés, puis rangés dans des cartons d'emballage et commercialisés. Chaque transformateur a ses propres normes de tri.

² Combinaison d'engin, d'espèces-cibles, de secteurs et de saisons dans lesquels une matrice de capturabilité peut être déterminée.

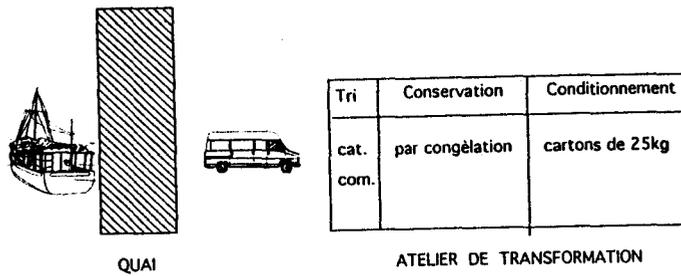


Figure 17 : Les étapes de la transformation des captures du débarquement à l'expédition.

Il y a deux façons d'échantillonner, soit au quai au moment où le poisson est transporté du bateau au camion, soit à l'intérieur de l'unité de transformation une fois les individus triés par tailles. Par rapport à la première option, la deuxième permet, pour un même coût d'échantillonnage, d'obtenir une plus grande exactitude mais exige plus d'information, notamment sur la ventilation de la capture en catégories. N'ayant pas eu accès à cette information, nous avons abandonné l'échantillonnage dans les catégories commerciales chez le transformateur (expérimenté en 1989) au profit de l'échantillonnage au port.

Au port, à l'intérieur d'un trimestre, il y a autant de possibilités de prélèvements que de marées débarquées. Celles-ci correspondent donc à des "grappes" d'échantillonnage (cf. échantillonnage à un ou plusieurs niveaux exposé dans Cochran (1977), Scherrer (1981, 1983) et Gros (1983). Environ 15 marées sont échantillonnées chaque trimestre, choisies le plus souvent en fonction de la disponibilité des enquêteurs. Chaque jour, une seule marée peut être étudiée par l'unique équipe d'enquêteurs. En toute rigueur, il faudrait classer les jours de débarquement en catégories tenant compte du nombre de marées débarquées, car les marées ont des probabilités d'être tirées dépendantes de ce nombre. Néanmoins, on fera pour simplifier comme si chaque marée avait la même probabilité d'être sélectionnée. L'erreur commise par cette simplification peut être à notre avis négligée puisque la composition en taille des captures et le nombre de marées débarquées en un jour ne sont pas corrélés ; la marée choisie peut donc être considérée comme un échantillonnage représentatif pour la description de la distribution de tailles un jour donné.

Comme nous l'avons dit au chapitre III-1 le nombre total de marées est estimé en ajoutant aux marées débarquées à Cayenne celles dont les captures sont vendues à l'extérieur de la Guyane.

A l'intérieur d'une marée sélectionnée, on mesure la taille, non pas de tous les poissons, trop nombreux, mais d'un sous-échantillon. La capture est déchargée dans des

caisses transportées en file vers le camion. Au passage, un certain nombre de caisses sont examinées et les tailles de tous les individus y sont relevées. La manière de prélever les caisses se rapproche donc plus d'un échantillonnage systématique que d'un échantillonnage aléatoire car, dans la cale, la répartition des tailles reflète la composition en tailles des bancs de poissons pêchés. En effet, comme l'ont montré des observations préalables à bord d'un ligneur, les pêcheurs rencontrent au cours d'une marée des bancs homogènes en taille, ces tailles diffèrent entre les bancs. S'il avait fallu respecter les conditions d'un Echantillonnage Aléatoire Simple (EAS), un tri préalable en catégories de taille aurait été nécessaire, ce qui est impossible sur un plan pratique.

L'échantillonnage systématique est donc utilisé. Il permet d'espérer échantillonner uniformément l'ensemble des bancs de poissons. C'est une technique plus performante que l'EAS, mais qui soulève des difficultés d'estimation de variance (les formules de l'EAS calculent dans ces conditions une limite supérieure à la variance recherchée : Cochran, 1977).

III-2.2.3. Plan d'échantillonnage

On reconnaît donc dans l'échantillonnage d'un trimestre une partition en 2 niveaux hiérarchisés : le niveau primaire est un ensemble de marées, et chaque marée comprend un ensemble de caisses débarquées (Fig. 18).

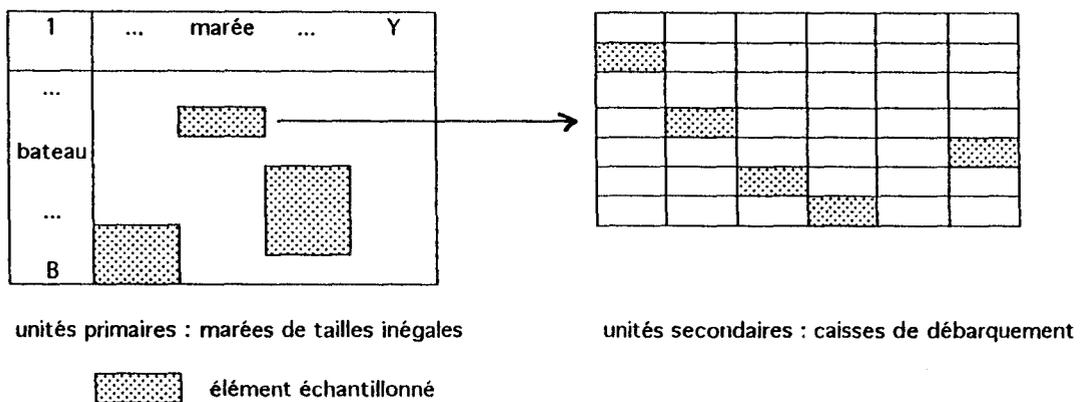


Figure 18 : Schéma du plan d'échantillonnage adopté pour estimer les effectifs de vivaneau rouge débarqués par classes de taille dans un trimestre.

Lorsque nous estimerons le nombre total de vivaneaux rouges débarqués dans une classe de longueur au cours d'un trimestre, nous supposerons que nous avons opéré successivement :

- un EAS sur les marées.
- un EAS sur les caisses de débarquement à l'intérieur de chaque marée sélectionnée.

La caisse représente l'élément statistique dans laquelle le vecteur variable étudié est le nombre d'individus appartenant à chaque classe de longueur. Il y a autant de variables (éléments du vecteur variable) que de classes de longueur.

III-2.2.4. Expression mathématique des estimateurs

En prenant les notations suivantes¹ :

- h pour le trimestre
- j pour la marée
- i pour la caisse de débarquement
- ℓ pour la classe de longueur
- $X_{\ell ij h}$: variable représentant l'effectif en nombre d'individus de vivaneau rouge dans la classe de taille ℓ , la caisse i de la marée j, et le trimestre h.

- $t_{\ell h}$: somme des effectifs sur les indices i et j = total de la classe des tailles dans le trimestre h

- lorsque la variable porte un chapeau (^) c'est qu'il s'agit d'un estimateur.

Les effectifs trimestriels d'unités primaires et secondaires dans la strate h sont donnés par :

	population	échantillon
- nombre de marées :	N_h	n_h
- nombre de caisses dans la marée j:	M_{hj}	m_{hj}

A) avec ces conventions, le nombre moyen de vivaneaux rouges par marée et par classe de longueur ℓ au cours d'un trimestre est estimé par (Cochran, 1977) :

$$\widehat{X}_{\ell h} = \frac{1}{n_h} \cdot \sum_{j=1}^{n_h} \frac{M_{hj}}{m_{hj}} \cdot \sum_{i=1}^{m_{hj}} X_{\ell hji}$$

et sa variance par :

¹ Les indices utilisés dans ce paragraphe n'ont aucun rapport avec les indices de même nom utilisés dans le chapitre sur le modèle linéaire.

$$\widehat{v}(\widehat{X_{eh}}) = \frac{(N_h - n_h)}{N_h \cdot n_h \cdot (n_h - 1)} \cdot \sum_j^{n_h} (\widehat{X_{ehj}} - \widehat{X_{eh}})^2 + \frac{1}{n_h \cdot N_h} \sum_j^{n_h} \frac{M_{hj} \cdot (M_{hj} - m_{hj})}{m_{hj} \cdot (m_{hj} - 1)} \cdot \sum_i^{m_{hj}} (X_{ehji} - \widehat{X_{ehj}})^2$$

B) L'estimation de l'effectif total trimestriel par classe de taille et de sa variance sont les suivantes :

$$\widehat{t_{eh}} = \widehat{X_{eh}} \cdot N_h$$

$$\widehat{v}(\widehat{t_{eh}}) = \widehat{v}(\widehat{X_{eh}}) \cdot N_h^2$$

C) L'estimation du total annuel de vivaneaux rouges et de sa variance s'obtiennent par sommation des totaux et variances trimestriels :

$$\widehat{t_e} = \sum_{h=1}^4 \widehat{t_{eh}}$$

$$\widehat{v}(\widehat{t_e}) = \sum_{h=1}^4 \widehat{v}(\widehat{t_{eh}})$$

III-2.3 Estimation du taux de mortalité et de l'abondance des effectifs survivants à partir d'une distribution en taille des captures (pseudo-cohorte)

III-2.3.1 Les équations de base de l'Analyse des Populations Virtuelles (APV) sur les longueurs

La méthode d'APV sur les longueurs a été introduite pour la première fois par Jones (1974).

A partir d'une distribution en âge d'une capture annuelle, on estime par cette technique les effectifs survivants N_a et les coefficients de mortalité F_a des classes d'âge dans le stock, en supposant que le recrutement et le vecteur $F = \{F_a\}$ sont constants pendant une durée au moins égale à celle de la phase exploitée, c'est à dire depuis l'âge d'entrée dans les captures jusqu'à l'âge de réforme. Sous ces hypothèses en effet, la

structure démographique d'un stock à un moment donné est identique à celle d'une cohorte au cours de sa vie.

Lorsqu'on ne dispose que d'une distribution de tailles, comme c'est le cas du vivaneau rouge de nos statistiques, on doit la transformer au préalable en une distribution d'âges pour se placer dans le cas précédent. Pour ce faire on utilise l'équation de Von Bertalanffy remaniée qui calcule l'intervalle de temps que met un vivaneau rouge pour passer de la longueur L_i à la longueur L_{i+1} (cette formulation élimine t_0) :

$$\Delta t = \frac{1}{K} \cdot \ln \left(\frac{L_{\infty} - L_i}{L_{\infty} - L_{i+1}} \right)$$

(cette relation ignore la variabilité individuelle de croissance : elle modélise une croissance moyenne).

Les données, les inconnues et les équations de ce calcul sont schématisées dans la figure 19 (les flèches représentent les équations).

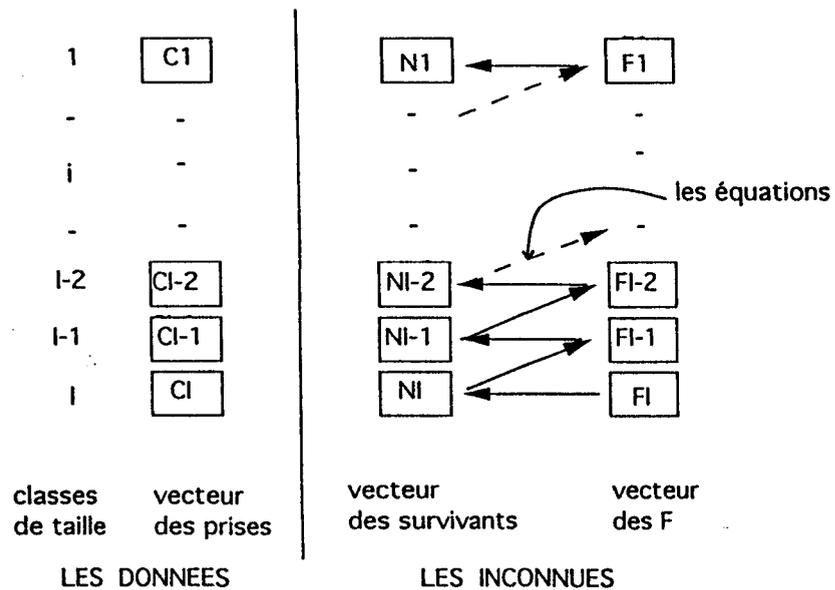


Figure 19 : Schéma de l'Analyse des Populations Virtuelles (APV) sur les longueurs.

Laurec et Mesnil (1987) font un exposé détaillé de la méthode. En reprenant les notations de ces auteurs, les équations des effectifs survivants N et des coefficients F s'écrivent :

$$N_i = \sum_{j \geq i}^{I^+ - 1} \left(\frac{L_\infty - L_j}{L_\infty - L_i} \right)^{\frac{M}{K}} \cdot C_j + \frac{C^+}{E^+} \cdot \left(\frac{L_\infty - L_i}{L_\infty - L_{i^+}} \right)^{\frac{M}{K}}$$

$$F_i = K \cdot (L_\infty - L_i) \cdot \frac{C_i}{N_i \cdot (L_{i+1} - L_i)}$$

avec les notations suivantes :

L_{i^+} : La longueur est discrétisée par intervalles de temps (L_i, L_{i+1}) avec $i = 1, \dots, I$, I = âge de "réforme" (fin de la période d'exploitation).

L_i : longueur d'entrée dans les captures

L_{i^+} : longueur dite de "réforme"

L_{i^+} : borne inférieure du groupe terminal dans lequel le coefficient de mortalité par pêche est considéré comme constant.

C_i : nombre d'individus capturés moyen sur l'intervalle (L_i, L_{i+1})

N_i : effectifs survivants au milieu de la classe de taille L_i

F_i : coefficient de mortalité par pêche au milieu de la classe L_i

L_∞ et K : paramètre de l'équation de Von Bertalanffy

C^+ : captures sur l'ensemble des classes de longueur supérieure à L_{i^+} .

F^+ : coefficient de mortalité par pêche pour l'ensemble des classes de longueur supérieure à L_{i^+}

Z^+ : coefficient de mortalité total pour l'ensemble des classes de longueur supérieur à L_{i^+}

$E^+ = F^+ / Z^+ = C^+ / N^+$: taux d'exploitation terminal sur l'ensemble des classes de longueur supérieure à L_{i^+}

III-2.3.2. Initialisation des calculs et propriété de convergence de la méthode d'APV

Nous avons $2I$ inconnues mais seulement $2I - 1$ équations. Il y a donc une inconnue de trop. Pour lever l'indétermination on fixe arbitrairement une valeur du coefficient F de la classe de longueur terminale. Puis, par rétrocalcul séquentiel, on résout numériquement les équations. L'équation des effectifs de survivants n'étant pas linéaire en F , la solution est recherchée à l'aide de la méthode itérative de résolution numérique de Newton.

L'intérêt principal de la méthode d'APV est que, malgré l'erreur commise sur la valeur initiale de l'inconnue F de la classe de longueur terminale, les résultats de calcul obtenus sur les coefficients F des autres classes de longueur convergent rapidement vers les vraies valeurs. C'est la propriété dite "de convergence" de la méthode. Elle s'explique par la relation suivante, qui montre comment se propage l'erreur relative initiale :

$$\frac{\Delta(F_i)}{F_i} \approx \frac{\Delta(E^+)}{E^+} \cdot \exp\left(-\sum_{j=1}^i F_j\right) \text{ d'après Laurec et Mesnil (1987)}$$

Cette relation récurrente établit que l'erreur relative sur le taux d'exploitation terminal devient négligeable quand la somme des F augmente, l'exponentiel négative tendant vers 0.

Par exemple, si le taux d'exploitation terminal est surestimé de 100 %, lorsque $\sum F_i = 2$ l'erreur relative ne sera plus que de 14 %.

Les calculs sont menés à l'aide du logiciel ANALEN mis au point par Chevaillier et Laurec (1990).

III-2.4 Estimation du rendement, de la PUE relative et de la biomasse féconde par recrue en fonction du coefficient de mortalité par pêche.

L'objectif des calculs est d'évaluer la production et la biomasse féconde du stock en faisant varier le coefficient F de mortalité par pêche. On utilisera le modèle de Thompson et Bell (1934) qui se caractérise par une discrétisation de l'axe des temps pour décrire le nombre d'individus survivants, et par une description de la croissance par les poids moyens au milieu des classes de taille. La biomasse du stock se calcule en faisant la somme des produits par intervalles de temps de deux facteurs antagonistes, le poids moyen qui augmente avec l'âge, et l'effectif qui diminue sous l'effet des mortalités naturelle et par pêche.

Les calculs sont menés en modifiant globalement le multiplicateur du vecteur F tout en conservant le même diagramme d'exploitation et le même recrutement. Les résultats recherchés varient en fonction du recrutement. Ils seront présentés pour un poisson recruté comme c'est l'usage en dynamique des populations exploitées. Les variations relatives de "PUE par recrue" seront simulées en divisant la production par le multiplicateur du vecteur F . L'estimation de la biomasse féconde par recrue sera déduite de la biomasse totale du stock en sélectionnant les individus matures.

Les données acquises sont pour chaque classe de taille l'effectif exploité dans le stock, le taux de mortalité par pêche, le poids moyen et la proportion d'individus matures.

Les formules sont :

A) Production par recrue :

A) Production par recrue :

$$\frac{Y}{R} = \frac{1}{R} \cdot \left[\sum_{i=1}^{I'-1} N_i \cdot W_i \cdot \frac{\mu \cdot F_i}{\mu \cdot F_i + M} \cdot (1 - e^{-(\mu \cdot F_i + M) \cdot dt_i}) + N_{I'} \cdot W_{I'} \cdot \frac{\mu \cdot F_{I'}}{\mu \cdot F_{I'} + M} \right]$$

$$\text{avec } N_i = R \cdot e^{-\sum_{j=1}^{i-1} (\mu \cdot F_j + M) \cdot dt_j} \text{ pour } i = 2 \dots I' \text{ et } N_1 = R$$

et les notations suivantes :

Y/R : capture pondérale en poids

R : recrutement à la longueur d'entrée dans les captures L_1

i : indice de classe de longueur

I' : indice de la classe de longueur terminale choisie de sorte que $I'+1 \geq L_\infty$

N_i : nombre d'individus au milieu de la classe de longueur (L_i, L_{i+1}) obtenu par APV

W_i : poids moyen au milieu de la classe de longueur (L_i, L_{i+1}) calculé par la relation taille/poids

F_i : coefficient de mortalité par pêche au milieu de la classe de longueur (L_i, L_{i+1}) obtenu par A.P.V.

M : coefficient de mortalité naturelle

μ : multiplicateur du diagramme d'exploitation

B) Biomasse féconde par recrue :

L'estimation de la BF/R est déduite de la biomasse totale du stock en sélectionnant les individus matures :

$$\frac{BF}{R} = \frac{1}{R} \cdot \left[\sum_{i=1}^{I'-1} P_i \cdot N_i \cdot W_i \cdot \frac{1}{\mu \cdot F_i + M} \cdot (1 - e^{-(\mu \cdot F_i + M) \cdot dt_i}) + \frac{P_{I'} \cdot N_{I'} \cdot W_{I'}}{\mu \cdot F_{I'} + M} \right]$$

avec P_i : proportion d'individus matures au milieu de la classe de longueur (i,i+1)

III-2.5. Répercussion des erreurs d'estimation des paramètres initiaux dans les fonctions de mortalité par pêche et de rendement par recrue

On trouvera dans Laurec (1986) une présentation des méthodes dites DELTA qui mesurent les conséquences des variations des paramètres initiaux dans les estimations finales des fonctions étudiées. Nous allons ci-après rappeler les formules générales de ces

méthodes, qui reposent sur les calculs de dérivées partielles et sur l'approximation d'une fonction par un développement en série de Taylor.

III-2.5.1. Evaluation de la sensibilité d'une fonction aux conditions initiales

Soit une fonction dérivable ϕ . A l'aide de ses dérivées première et seconde on obtient une approximation linéaire et parabolique de cette fonction. En effet, au voisinage d'un point $^{\circ}$, la meilleure approximation linéaire correspond à la tangente à la courbe. Le graphe de la dérivée seconde est une parabole qui prend en compte la courbure de la fonction. La fonction ϕ dépend de la valeur de I variables θ ($i=1,\dots,I$). Pour chaque variable i , un coefficient relatif de sensibilité d'ordre 1 est défini comme suit, au voisinage d'un point $^{\circ}$:

$$A_i = \frac{\theta_i^{\circ}}{\phi(\theta_1^{\circ}, \dots, \theta_I^{\circ})} \cdot \frac{\delta \phi(\theta_1^{\circ}, \dots, \theta_I^{\circ})}{\delta \theta_i^{\circ}}$$

La poursuite jusqu'à l'ordre 2 amène des termes quadratiques :

$$A_{ii} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\theta_i^{\circ 2}}{\phi(\theta_1^{\circ}, \dots, \theta_I^{\circ})} \cdot \frac{\delta^2 \phi(\theta_1^{\circ}, \dots, \theta_I^{\circ})}{\delta \theta_i^{\circ 2}}$$

et des termes croisés :

$$A_{ij} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\theta_i^{\circ} \cdot \theta_j^{\circ}}{\phi(\theta_1^{\circ}, \dots, \theta_I^{\circ})} \cdot \frac{\delta^2 \phi(\theta_1^{\circ}, \dots, \theta_I^{\circ})}{\delta \theta_i^{\circ} \cdot \delta \theta_j^{\circ}}$$

Ces coefficients sont des facteurs multiplicatifs qui traduisent l'amplification des erreurs initiales via le modèle. Ils varient en fonction des valeurs des paramètres d'une part et des valeurs des variables explicatives d'autre part.

Une approximation de la fonction ϕ est obtenu par un développement en série de Taylor et, avec les coefficients de sensibilité d'ordre 1 et 2, l'erreur relative de la fonction ϕ s'exprime en fonction des erreurs relatives sur I variables par :

$$\frac{\Delta \phi}{\phi^{\circ}} \approx \sum_{i=1}^I A_i \cdot \frac{\Delta \theta_i}{\theta_i^{\circ}} + \sum_{i=1}^I A_{ii} \cdot \frac{\Delta \theta_i^2}{\theta_i^{\circ 2}} + \sum_{i>j}^I 2 \cdot A_{ij} \cdot \frac{\Delta \theta_i \cdot \Delta \theta_j}{\theta_i^{\circ} \cdot \theta_j^{\circ}}$$

A l'aide de cette relation on pourra étudier le comportement numérique de la fonction ϕ en réponse aux écarts des valeurs estimées des paramètres initiaux.

III-2.5.2. Approximations des variances et biais

L'approximation de la fonction ϕ . par son développement d'ordre 1 fournit une estimation de la variance, et par son développement d'ordre 2 une estimation du biais.

En exprimant les résultats en valeurs relatives on trouve :

- le coefficient de variation CV :

$$\widetilde{CV}^2(\hat{\phi}_{1j}) \approx \sum_{i,j} \widetilde{A}_i \cdot \widetilde{A}_j \cdot \widetilde{C}_{ij}$$

C désigne le coefficient de covariation de θ_i et θ_j (une approximation est notée avec un tilde, et un estimateur avec un accent circonflexe).

- le biais relatif :

$$\frac{E(\hat{\phi}) - \widetilde{\phi}}{\widetilde{\phi}} \approx \sum_{i,j} \hat{A}_{i,j} \cdot \hat{C}_{i,j}$$

- Enfin, sous l'hypothèse de normalité, la variance d'une fonction peut être estimée par un développement limité à l'ordre 2, en remarquant que lorsqu'une variable aléatoire est distribuée selon une loi normale, ses moments d'ordre supérieur à 2 s'expriment en fonction de ceux d'ordre 1 et 2 (Laurec, 1986).

IV- ANALYSE GLOBALE

IV- ANALYSE GLOBALE DE LA DYNAMIQUE DU STOCK DE VIVANEAU ROUGE

IV.1 DESCRIPTION DES ETAPES SUIVIES

Les données brutes nécessaires à la modélisation décrite au chapitre III sont composées :

- d'une série de productions annuelles.
- d'un ensemble de PUE et d'effort de pêche nominal par bateau, strate spatio-saisonnaire et année.
- d'une série d'efforts de pêche nominaux (nombre réel de jours de pêche) totaux et annuels sur l'ensemble des éléments (bateaux et strates spatio-saisonniers).

Le modèle global suppose comme principales hypothèses que le stock est en équilibre avec son milieu, et que le coefficient de capturabilité q est constant. En réalité ce facteur q fluctue à travers les saisons et secteurs de pêche, et entre les bateaux. Pour revenir au cas idéal, il faut extraire des données brutes les variations de capturabilité (relativement à des éléments de référence) et construire un nouveau stock théorique standard pour un facteur de capturabilité fixé : celui du navire de référence ayant opéré dans la strate spatio-saisonnaire de référence. Nous avons vu au chapitre méthodologique comment s'affranchir de cette variation de capturabilité en traitant un ensemble de PUE par un modèle multiplicatif à trois facteurs. Ce traitement préalable des PUE par un modèle auxiliaire fournit en sortie trois types de données élaborées : les puissances de pêche des navires, les abondances apparentes de vivaneau rouge des strates spatio-saisonniers, et les indices annuels d'abondance apparente. Ces derniers s'apparentent à des PUE standards, par construction proportionnelles à la biomasse exploitée. En divisant les productions annuelles par les PUE standards correspondantes, on obtient des efforts effectifs annuels (en jours de pêche standards), proportionnels aux taux annuels de mortalité par pêche.

Efforts effectifs annuels et productions annuelles seront utilisés comme données d'entrée du modèle global.

Comme données complémentaires pour la modélisation, on utilisera les estimations des **efforts nominaux** (en jours de pêche) par strate spatio-saisonnaire et par année. Ces estimations d'efforts nominaux feront comprendre la stratégie de la flottille en répondant à la question : comment la flottille déploie-t-elle son effort de pêche dans les différentes strates spatio-saisonniers ? En effet, les mécanismes de gestion de la pêcherie peuvent être régulés en agissant sur l'effort nominal. Pour une même activité nominale, il

existe plusieurs distributions possibles d'activité effective dont le mode de gestion est un problème fondamental de l'analyse des stratégies de pêche.

IV-1.1. Les données nécessaires à la modélisation

1) La production annuelle (1985 - 1991) : elle est estimée, rappelons-le, par le nombre total de marées multiplié par la production moyenne (en kg) des marées, elle même estimée par échantillonnage sur l'ensemble des marées. Les productions des marées débarquées à Cayenne sont consignées dans des fiches de débarquement officielles. Elles sont fiables. Le nombre total de marées est estimé à partir du calendrier d'activité des bateaux, recueilli au laboratoire depuis 1985.

L'estimation de la production totale est donc le produit d'une variable aléatoire, la production moyenne par marée, par un nombre fixe, le nombre total de marées. Elle présente une certaine incertitude liée d'une part à la nature aléatoire de la variable mesurée, prise en compte dans la variance d'estimation, d'autre part à l'imperfection du dénombrement du nombre de marées. Cette imprécision, qui s'exprime habituellement sous forme d'un intervalle d'incertitude différent d'un intervalle d'estimation statistique, ne sera pas prise en compte ici.

2) Les PUE et effort de pêche par bateau, strate spatio-saisonnaire et année (1987-1991) :

Ces statistiques de pêche sont obtenues par la collecte de journaux de bord auprès des pêcheurs. Les variables observées sont la capture (en kg) et l'effort de pêche (en jours de pêche) par bateau et par strate spatio-saisonnaire fréquentée au cours d'une marée. En divisant la capture par l'effort de pêche on obtient une PUE. Pour chaque marée réalisée par un bateau, il y a autant d'observations (PUE) qu'il y a de secteurs fréquentés.

Les strates retenues sont les mois et les secteurs délimités par les isobathes 20 m, 40, 60, 80, 100, 120 et 140 m. L'unité d'effort est égale au temps de pêche d'un bateau exprimé en jours (égal au temps de sortie en mer moins les temps de route et de cape). Il est partagé en un temps de recherche des bancs et un temps de capture des poissons, estimés chacun à 50 % du temps de pêche t . Appelons ces proportions respectivement p_r et p_p . La PUE est alors égale à $Q / (t \cdot p_p)$, Q étant la capture pondérale. Si p_r et p_p sont constants, la PUE sous-estime l'abondance réelle mais non les variations d'abondance que l'on cherche à mesurer. En réalité, p_p augmentant avec l'abondance, donc la PUE surestime les variations d'abondance. Ce défaut de connaissance dans l'activité de pêche pourra ne pas être négligeable dans l'estimation des variations d'abondance, surtout quand ces variations seront de grandes amplitudes.

Un traitement préliminaire des PUE a permis de détecter et de rejeter les données aberrantes, c'est à dire anormalement éloignées de la moyenne. Nous estimons qu'une observation éloignée de plus de trois écarts-types est probablement une erreur de codage. D'autre part, nous avons vu que les estimations sont imprécises et fortement biaisées lorsque le nombre d'observations est faible. Nous avons écarté les navires et strates spatio-saisonniers pour lesquels nous avons moins de 4 observations.

En définitive, 4153 PUE vont être analysées. Elles proviennent de 52 bateaux en activité de pêche dans 56 strates spatio-saisonniers pendant 5 ans. Elles sont exprimées en kg de poids vif par jour de pêche.

Un traitement des observations relatives à l'année 1988 a donné lieu à une publication (Pérodou et Prévost, 1989), dont un exemplaire est présenté en annexe 4.

3) Les efforts de pêche nominaux annuels (1987-1991) :

L'effort nominal annuel s'obtient en additionnant les efforts déployés au cours de l'année par la flottille dans les strates spatio-saisonniers, exprimées en nombre de jours concrets. Il ne prend en compte que les marées pour lesquelles existent des données. Pour estimer l'effort nominal total, l'effort nominal moyen d'une marée $\overline{f_m}$ doit être multiplié par le nombre total de marées N , comme cela a été fait dans le calcul d'estimation de la production annuelle. L'estimation de l'effort total \hat{f}_t et de sa variance $\hat{v}(\hat{f}_t)$ sont égales à :

$$\begin{aligned}\hat{f}_t &= N \cdot \overline{f_m} \\ \hat{v}(\hat{f}_t) &= N^2 \cdot \hat{v}(\overline{f_m})\end{aligned}$$

Cependant, la gestion par "quotas" des ressources halieutiques de la CEE a amené le système de recueil des statistiques de pêche à privilégier le suivi des captures, au détriment de celui des efforts. L'habitude a donc été prise par les gestionnaires de raisonner en terme de volume débarqué plutôt qu'en nombre de marées. L'estimation de l'effort total est dans ce cas le produit d'un estimateur rapport r de deux variables aléatoires, l'effort nominal moyen $\overline{f_m}$ et la production moyenne x d'une marée, par l'estimation de la production totale P .

Dans ce cas l'effort total est égal à :

$$\hat{f}_t = \hat{r} \cdot \hat{P} \quad \text{en posant} \quad \hat{r} = \frac{\overline{f_m}}{\bar{x}}$$

ce qui revient à estimer N par \hat{P} / \bar{x}

La variance de l'estimateur rapport est donnée par :

$$\hat{v}(\hat{r}) = N^2 \cdot \left(1 - \frac{n}{N}\right) \cdot \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{\bar{x}^2} \cdot \frac{(f_{mi} - r \cdot x_i)^2}{n-1} \right]$$

r et $v(r)$ sont des estimateurs biaisés (voir Cochran, 1977, pour le calcul d'une valeur approchée du biais). Ce biais est négligeable lorsque le nombre de marées échantillonnées est grand (> 30 marées), ce qui est le cas ici.

Sous réserve que r et P soient non corrélées, l'estimation de la variance de l'effort total $v(ft)$ est donnée par :

$$\widehat{v}(\widehat{f}_t) = \widehat{v}(\widehat{r}) \cdot \widehat{v}(\widehat{P}) + \widehat{P}^2 \cdot \widehat{v}(\widehat{r}) + \widehat{r}^2 \cdot \widehat{v}(\widehat{P})$$

En définitive, pour éviter toutes ces complications de calcul qui ne font qu'augmenter l'incertitude de l'estimation recherchée, il serait plus judicieux de déterminer au mieux la proportion de marées échantillonnées.

IV-1.2. Construction du modèle global

Le modèle global retenu est, comme nous l'avons indiqué au chapitre III, le modèle exponentiel de Fox (1970).

Une première étape permet d'explorer les données brutes et d'élaborer grâce à une régression linéaire de nouvelles données synthétiques, que l'on utilisera dans l'estimation des paramètres du modèle : les données utilisées sont constituées par les efforts effectifs annuels (données synthétiques) d'une part, et par les productions annuelles (données brutes) d'autre part.

La série de données brutes disponibles est brève : elle va de 1987 à 1991. Dans ces conditions, l'indétermination des paramètres du modèle sera grande. C'est pour cette raison que nous nous limiterons à estimer la Prise Maximale Equilibrée (PME), et l'effort maximal correspondant f_M .

IV-2. ESTIMATION DES PARAMETRES NECESSAIRES A LA MODELISATION

IV-2.1. Estimation de la capture annuelle de vivaneau rouge

Les résultats mois par mois sont présentés en Annexe 5 et sont regroupés par années dans le tableau 6. On observe que :

- le nombre de marées augmente régulièrement de l'année 1985 à l'année 1988, passant pendant cette période de 153 à 243. En 1989, il augmente brusquement de 61 % pour atteindre 391 marées. Après un léger fléchissement en 1990 (334 marées), il atteint à nouveau 396 marées en 1991.

- en cinq ans, de 1985 à 1989, la capture de vivaneau rouge a pratiquement doublé, passant de 612t à 1190 t. La barre symbolique des 1000 t est franchie pour la première fois en 1988. En 1990 la production s'est stabilisée à 1185 t. En 1991, elle chute de 16 %, pour la première fois de façon aussi nette, depuis l'expansion de la pêcherie qui remonte à 1980.

- la proportion de marées qui est débarquée à Cayenne croît de 59 % en 1985 à 72 % en 1988. Depuis 1989 elle se maintient aux environs de 80% (exactement 83 % en 1989, 78 % en 1990 et 82 % en 1991).

Le coefficient de variation de l'estimation de la production est de 4 % en 1985. Il diminue les deux années suivantes pour atteindre 1 % en 1988, et se maintient à cette valeur au cours des années suivantes. Cette précision est satisfaisante a priori, compte tenu des incertitudes qui peuvent exister sur les autres paramètres de la modélisation.

année	nombre de marées débarquées à Cayenne	estimation du nombre de marées total	estimation de la production totale (kg)	écart-type de l'estimation de la production totale	coefficient de variation	% de production débarquée en Guyane
1985	82	153	612 185	28 268	0,05	59,14
1986	120	193	790 550	34 064	0,04	65,08
1987	153	210	755 673	15 797	0,02	73,82
1988	187	243	1 116 813	16 123	0,01	72,12
1989	319	391	1 129 561	14 705	0,01	83,50
1990	261	334	1 185 220	12 482	0,01	78,03
1991	325	396	999 835	13 818	0,01	81,64

TABLEAU 6 : Estimations annuelles du nombre de marées et de la capture de vivaneau rouge (poids éviscéré).

IV-2.2. Résultats du traitement des prises par unité d'effort (PUE) selon un modèle auxiliaire à trois facteurs

IV-2.2.1. Choix du modèle

On a considéré que les PUE étaient soumises à l'influence des trois principaux facteurs suivants : la puissance de pêche des navires, la saison et la profondeur des strates spatio-saisonnnières, et les années. On suppose donc que l'ensemble des pourcentages de variance totale expliqués par ces facteurs représente une part appréciable de la variance totale.

Les six interactions possibles entre ces facteurs n'ont pas été analysées. Elles existent probablement mais sont supposées ne pas expliquer une part importante de la variance totale des observations. Le fait de ne pas retenir d'interactions dans le modèle a pour but de favoriser l'explication des résultats, au prix d'un moins bon ajustement en terme de partition de variance.

IV-2.2.2. Les puissances de pêche des navires et leur variation

Les puissances de pêche et les caractéristiques physiques des ligneurs sont présentées dans la figure 20 et le tableau 7.

La distribution des PDP s'ajuste à une fonction de Gauss avec un coefficient de détermination de 0,93, c'est à dire que 93 % de la dispersion des puissances de pêche sont expliqués par le modèle. La moyenne est égale à 1,1 et l'écart-type à 0,28, ce qui fait un coefficient de variation de 25 %. Les navires apparaissent donc former un ensemble relativement homogène et peu variable vis à vis de leur pouvoir de capture.

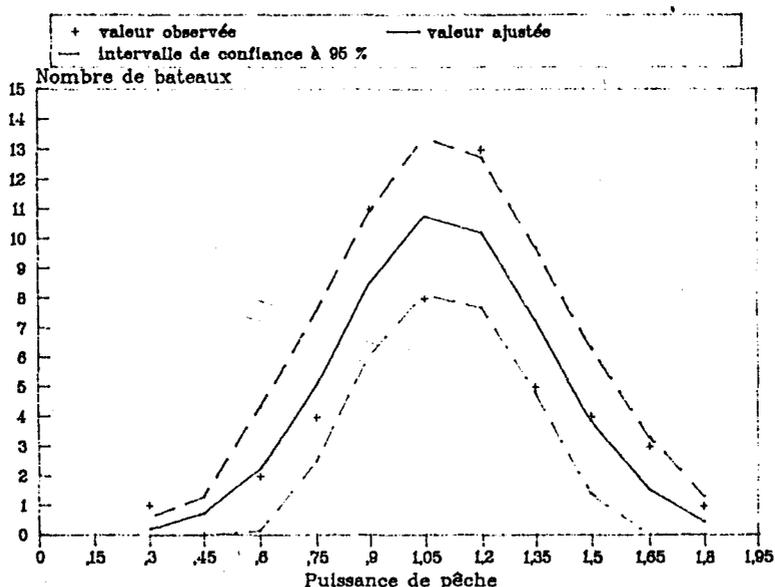


Fig. 20 : Distribution des puissances de pêche des ligneurs. Ajustement des données à une fonction de Gauss (coefficient de détermination 0.93).

Nous allons tenter d'expliquer ces variations de puissance de pêche entre bateaux. Nous observons sur la figure 21 que la longueur des navires, elle-même corrélée avec les autres caractéristiques physiques comme la puissance motrice et le tonnage ($r = 0,70$ et $0,66$ respectivement), est un facteur ($r = 0,29$) qui explique seulement 8 % de la variance des puissances de pêche des navires. En appliquant le test r de signification d'une corrélation, qui consiste à déterminer si la valeur du coefficient r peut avoir été obtenu par hasard ou non, la table du test indique pour 46 degrés de liberté (48 bateaux) une valeur de r égale à $0,285$ et $0,368$, au risque de se tromper égal à 5 % et 1 % respectivement. Donc, si l'on admet 5 % de chances de se tromper, la corrélation existe. Par contre, si l'on exige 1 %, alors la corrélation est non-significative.

Le facteur "atelier de transformation" n'est pas un facteur susceptible d'expliquer une partie appréciable des différences de puissance de pêche entre les navires.

Le port d'attache est bien connu comme étant un facteur d'hétérogénéité entre les bateaux (Gondeau et Biseau (1987), Péroudou (1988)), mais ici tous les ligneurs sont basés dans le même port d'attache, l'île de Margaritas.

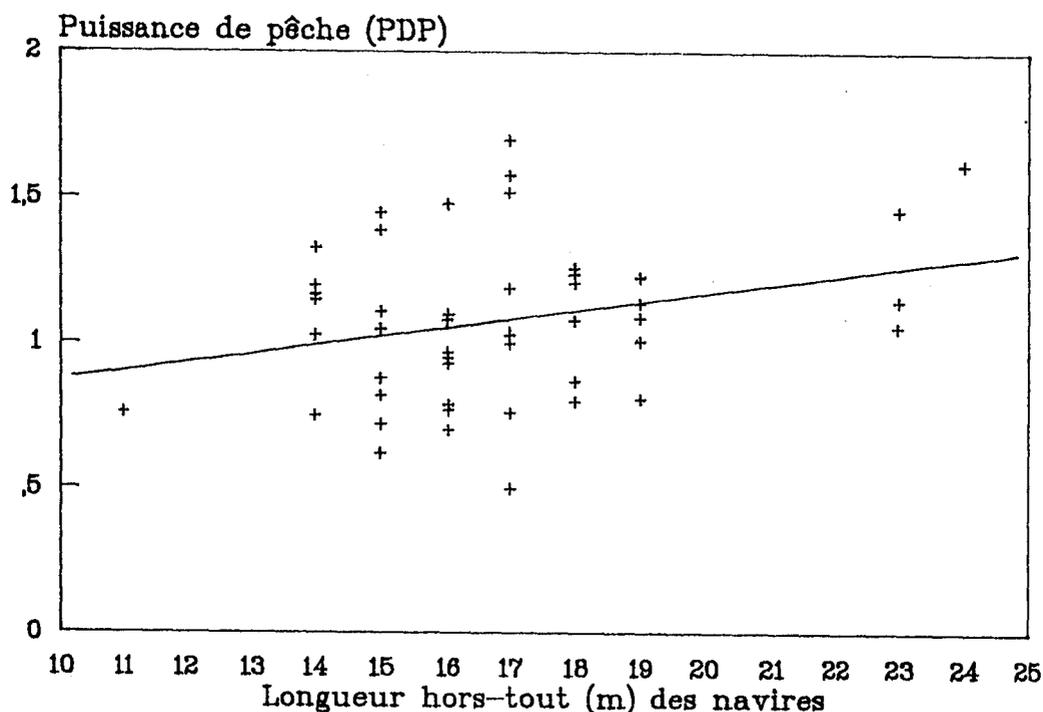


Fig.21 : Relation entre la longueur et la puissance de pêche des ligneurs.

· Finalement, n'ayant plus de facteurs à tester, nous expliquons simplement les variations de puissance de pêche par une différence de "savoir-faire" entre les pêcheurs.

Les bateaux pêchent en groupes. Lorsque l'un d'entre eux a détecté un banc de poissons, les autres se rassemblent autour de lui pour les pêcher, ce qui tendrait à annuler l'effet de la compétence dans la recherche des bancs, sur la puissance de pêche. Nous pouvons ainsi distinguer deux éléments dans le savoir-faire des pêcheurs : la recherche des bancs et la capture des poissons une fois le banc détecté. Dans la recherche des bancs le patron-pêcheur oscille entre deux attitudes quand le rendement est faible : ou bien il quitte le terrain de pêche pour tenter de trouver de meilleurs rendements ailleurs, ou bien il reste sur place pour assurer à la marée une rentabilité minimale. Les bateaux les moins efficaces seront probablement ceux qui ne prennent pas assez de risques et ceux qui, se prenant au jeu, dépensent trop de temps à rechercher les bancs. Au contraire, les bateaux les plus efficaces seront ceux qui auront su à la fois détecter les bons coups de pêche sans pour autant négliger les détections des autres navires.

Une fois le banc détecté, la capture des vivaneaux rouges dépend aussi de l'habileté des pêcheurs à les ferrer. C'est l'autre facteur important qui explique une partie des différences de puissance de pêche constatées entre les bateaux.

(1) Atelier de transformation

Bateau N°	Nombre d'observations	Longueur (m)	Puissance (kw)	Tonnage (tonneaux)	PDP	Atelier(1) N°
4800	48	17	147	46	1,1	1
444	99	11	139	19	0,76	1
1061	67				0,85	2
1176	151	15	142	35	1,11	1
2356	89	15	140	33	1,05	3
2460	6	16	257	22	0,97	3
2557	142	23	267	129	1,06	2
3172	8	15	146	39	0,72	3
3288	35	18	227	61	0,87	1
3366	88	17	147	31	1,19	2
3552	128	15	140	18	0,82	2
3603	12	16	121	43	0,93	3
3751	20	17	237	49	1,7	1
3865	2				0,49	2
3968	136	15	221	43	1,39	2
3976	155	18	228	40	1,08	2
4216	7	16	147	29	1,48	1
4322	13	18	176	72	1,21	3
4489	49	15	132	36	1,45	2
4924	234	19	184	52	1,14	2
5038	97	16	147	32	0,7	2
5322	101	16	176	41	1,1	3
5458	100	19	226	75	0,81	1
5626	60	23	267	128	1,46	1
5680	100	23	267	126	1,15	3
5705	24	24	293	62	1,62	1
5709	44	16	140	46	0,77	1
5724	8	18	256	64	0,8	1
5734	13	15	227	50	0,62	1
5754	131	14	177	40	1,33	2
5756	2				0,27	1
5949	129	17	184	71	0,76	1
5987	148	17	183	71	1,52	1
6001	128	16	177	46	1,08	1
6332	175	14	147	33	1,17	3
6379	147	14	243	32	1,03	3
6425	10		184		1,19	1
6428	150	17	184	56	1,04	1
6450	112	14	140	33	1,2	1
6487	50	14	177	41	0,75	2
6501	216	18	237	62	1,26	2
6505	46	18	183	64	1,24	1
6553	43	16	140	32	0,95	3
6607	247	19	258	169	1,09	2
6649	9	19	220	37	1,01	1
6694	67	15	162	33	0,88	3
6695	66	14	140	35	1,15	3
6709	28	17	219	57	0,5	1
6726	61	17	177	54	1,58	2
6929	42	19	236	94	1,23	1
7019	27	17	256	59	1,03	1
7084	13	16	161	17	0,79	1

Tab. 7 : Puissance de pêche (PDP) et principales caractéristiques des navires

IV-2.2.3. Variabilité de l'abondance apparente (AA) des strates spatio-saisonnnières (Fig. 22 et 23, Tableau 8)

mois strate	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30				1	1,13	1,52	1,35		1,36	0,9	
				5	23	19	7		14	4	
50	1	1,42	1,35	1,43	1,23	1,58	2,14	1,64	1,42	1,51	0,53
	42	119	75	113	98	148	196	180	130	86	8
70	1,4	1,7	1,75	2	1,73	2,02	1,92	1,74	1,72	1,91	0,96
	52	137	142	135	158	178	99	140	190	193	8
90	1,02	1,54	1,87	2	2,46	2,17	1,84	1,9	1,72	1,94	
	35	49	38	76	97	91	57	88	159	106	
110	1,87	1,96	2,16	2,33	2,68	2,68	2,48	1,9	2,02	1,86	
	5	29	50	63	66	47	59	56	103	79	
130		1,53	2,69	3	3,41		2,04	2,67	2,69	1,62	
		4	9	4	10		19	6	22	27	

Tab. 8 : Abondance apparente par strate spatio-saisonnnière (en haut de chaque case) et nombre d'observations (en bas).

Notons, en préliminaire, qu'il y a une absence de pêche et donc de données en janvier, ce qui cache une partie de l'information recherchée.

En ce qui concerne les variations bathymétriques, l'indice est minimal à 30 m de profondeur (1,21 en moyenne sur les mois), et en général maximal à 130 m (2,46 en moyenne sur les mois) : une augmentation graduelle d'abondance est observée en fonction de la profondeur. Elle est bien marquée quel que soit le mois d'activité et reflète une stabilité saisonnière des conditions hydrologiques, décrites au chapitre II.

En ce qui concerne les variations mensuelles, les figures 22 et 23 montrent que l'abondance apparente croît en début d'année, de février à avril, et décroît en fin d'année, d'octobre à novembre. D'avril à octobre, on ne remarque pas de fortes variations.

Les différences d'abondance entre les profondeurs ne sont pas les mêmes entre les mois. Le maximum saisonnier se déplace d'avril et 130 m à juillet et 30 m. Cette interaction entre les deux facteurs peut s'expliquer par une migration saisonnière d'une partie du stock.

Ces différences observées entre les groupes traduisent-elles l'influence des facteurs étudiés, ou bien sont-elles simplement d'ordre aléatoire ? Pour répondre à la question nous avons dressé un tableau d'analyse de variance à deux critères, avec une seule observation par "cellule". Le test de Fisher-Snedecor a donc été réalisé par rapport au facteur d'interaction entre les deux critères, interaction dont on ne sait pas tester

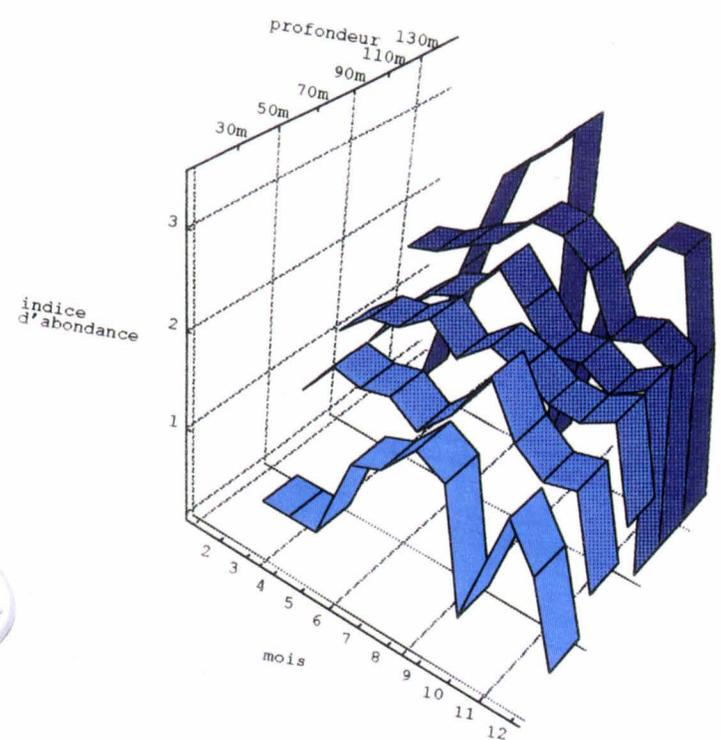
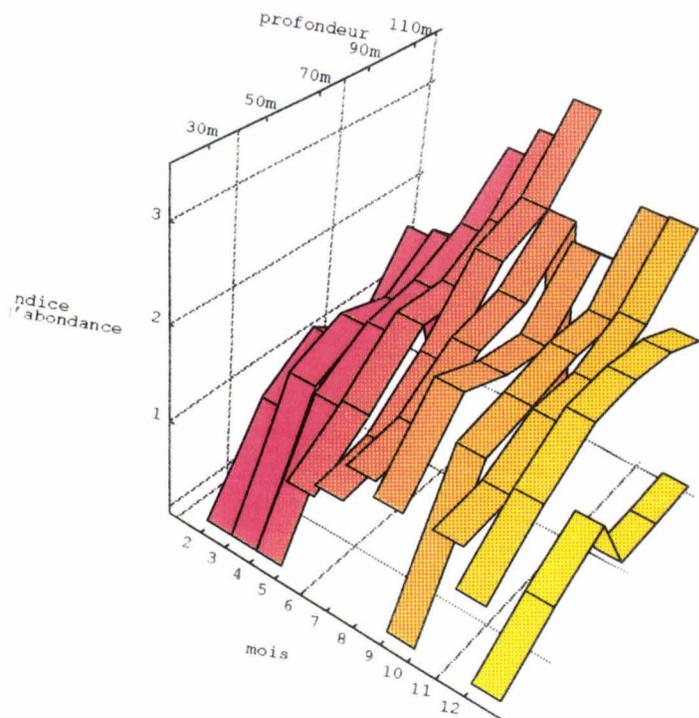


Fig.22 : Variations mensuelle et bathymétrique de l'indice d'abondance apparente. Première représentation.

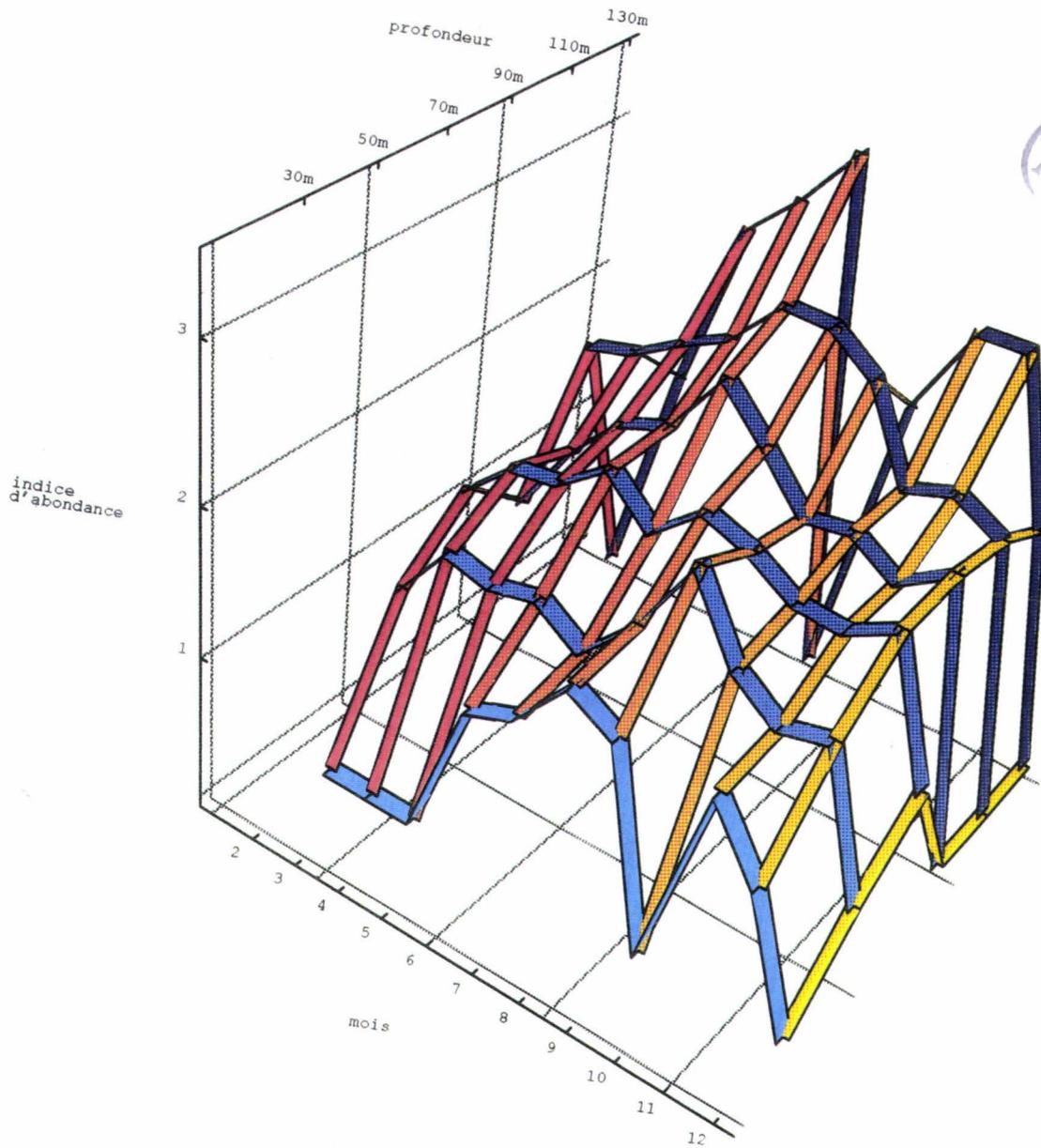


Fig.23 : Variations mensuelle et bathymétrique de l'indice d'abondance apparente. Deuxième représentation.

l'existence et qui est parfaitement visible sur les graphiques. Les résultats de l'analyse de variance sont présentés ci-dessous :

sources des écarts	somme de carrés	degré de liberté	carré moyen	F
facteur profondeur	12,26	5	2,45	F1 = 6,45
facteur mois	17,58	10	1,76	F2 = 4,62
interaction	15,22	40	0,38	

Dans notre tableau nous avons $16 \times 6 = 66$ cellules et seulement 56 données. Il y a donc $(10 / 66)100 = 15 \%$ de données manquantes. Ces données manquantes ont été remplacées par des valeurs moyennes estimées. Le degré de liberté du carré moyen de l'interaction et celui du carré moyen total ont été diminués d'autant d'unités que l'on a de données manquantes. D'après Dagnelie (1975), cette procédure n'est qu'approximative et permet d'obtenir des estimations non biaisées des moyennes et du carré moyen de l'interaction, mais donne, par contre, des valeurs surestimées des carrés moyens factoriels.

La table des distributions F de Fisher-Snedecor indique, pour $K_1 = 5$ et $K_2 = 40$ DL, une valeur de F_1 égale à 5,13 au seuil 0,1 %, et, pour $K_1 = 10$ et $K_2 = 40$, une valeur de F_2 égale à 3,87 au seuil 0,1 %.

Le facteur "mois" comme le facteur "profondeur" sont donc tous deux significatifs à 0,1 %.

Ces variations d'abondance sont à relier aux phases du cycle de développement du vivaneau rouge : recrues, juvéniles, adultes reproducteurs et adultes non reproducteurs. La méthode a déjà permis de cartographier ces stades pour plusieurs espèces benthodémersales septentrionales : Pérodou et Fontaine (1985), Ottenheimer (1986), Moguedet (1988), Pérodou (1988), Flores-Hernandez (1990).

L'influence de la profondeur a déjà été signalée par Anon. (1983), qui montre une répartition croissante des tailles avec la profondeur, les individus juvéniles étant circonscrits à la côte et les adultes au large.

Les variations mensuelles n'apparaissent pas assez marquées pour les relier à quelque facteur biologique. Cela s'explique par l'absence de rythme saisonnier de l'environnement et par une activité reproductrice du vivaneau étalée sur l'année, comme nous le verrons au chapitre sur la biologie de l'espèce. La compréhension de ces variations de densité nécessiterait de disposer d'observations biologiques complémentaires telles que la composition en taille et l'état de maturité des gonades par

strate spatio-temporelle, et les migrations côte-large en fonction de paramètres biologiques (migrations trophique ou de reproduction).

IV-2.2.4. Relation entre l'abondance apparente et l'effort de pêche (Fig.24 et 25, et tableau 9) dans les strates spatio-saisonnnières

L'effort de pêche est localisé préférentiellement entre 50 et 70m, quel que soit le mois d'activité (Fig. 24). Il n'est donc pas maximal dans les strates où l'est l'abondance apparente du vivaneau rouge, qui se situe, comme on l'a vu au paragraphe précédent, entre 110 et 130 m de profondeur. C'est ce qu'exprime la relation présentée sur la figure 26 entre l'effort de pêche et l'abondance apparente, où l' on observe que, derrière un important bruit de fond, l'effort moyen croît tout d'abord avec l'abondance, puis décroît jusqu'à s'annuler pour les plus fortes valeurs de densité constatées. Il est surprenant que, d'un point de vue stratégique, la flottille n'alloue pas le maximum de son effort dans les strates de plus forte abondance de vivaneau rouge, qui pourtant est l'espèce la plus ciblée. Quelle en est la cause ? On peut évoquer :

- 1) les conditions de pêche. Elles sont plus difficiles au large qu'à la côte en raison d'une part d'une mer plus agitée engendrée par des forts courants, et d'autre part d'un effort physique plus grand pour remonter les poissons de 100 ou 130 m de profondeur.
- 2) Le poids des habitudes. Le pêcheur, habitué à travailler dans une zone qui n'était pas intensément exploitée, ne chercherait pas outre mesure le rendement maximal mais s'accommoderait d'une pêche de subsistance.

IV-2.2.5. Variabilité de l'abondance apparente annuelle et estimation de l'effort de pêche standard

L'indice annuel se définit comme une PUE standard et équivaut, pour une année considérée, à la PUE qu'aurait obtenue le bateau de référence s'il avait pêché dans la strate spatio-temporelle de référence. En divisant, pour une année donnée, la capture par la PUE standard, on obtient un effort standard annuel, équivalent à l'effort qu'aurait dû dépenser le navire de référence s'il avait pêché dans la strate spatio-temporelle de référence pour obtenir la capture annuelle totale de la flottille.

Les résultats sont fournis dans le tableau 10 et la figure 26. On observe que :

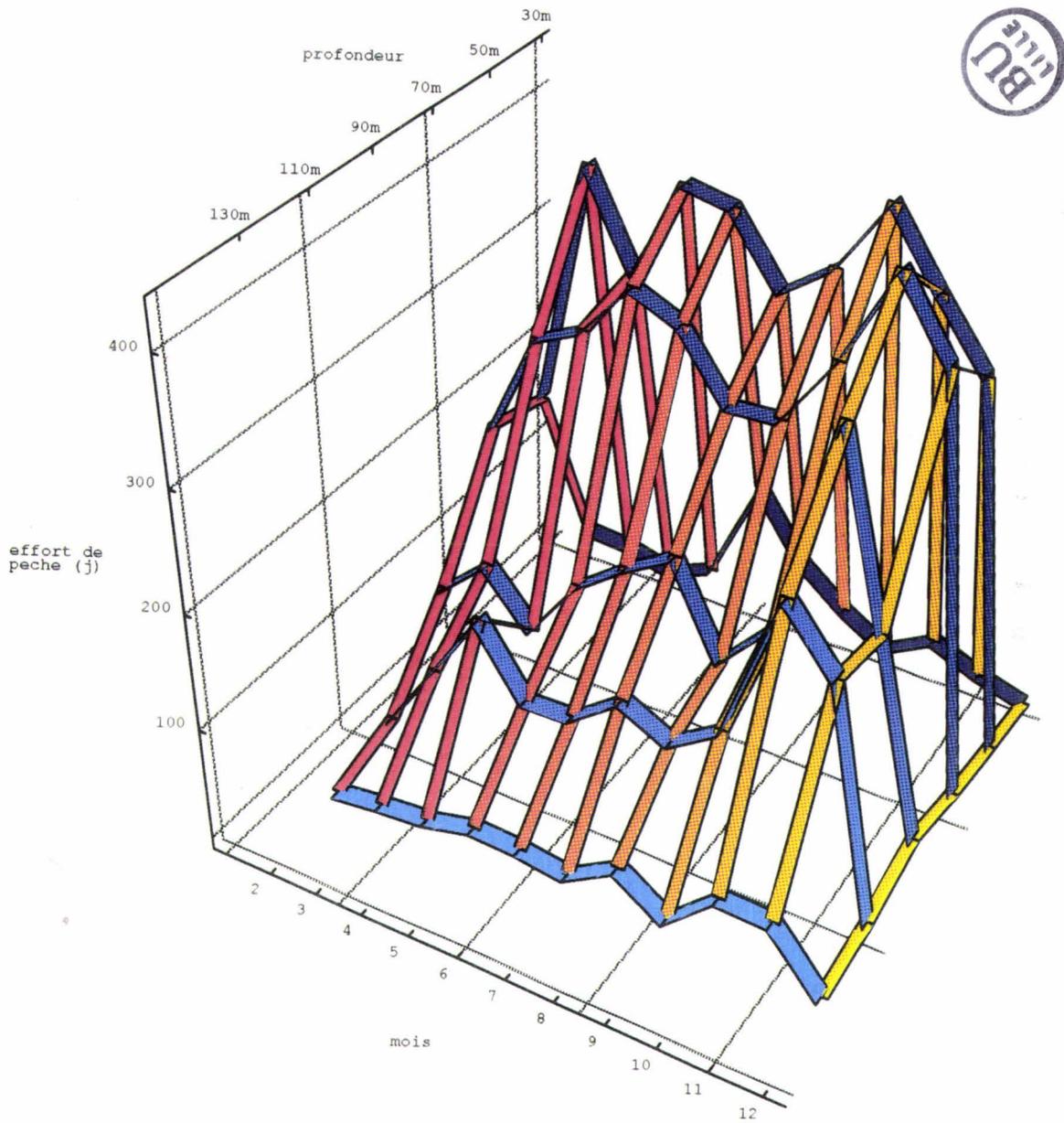


Fig.24 : Variations mensuelle et bathymétrique de l'effort de pêche, au cours de la période 1987-1991.

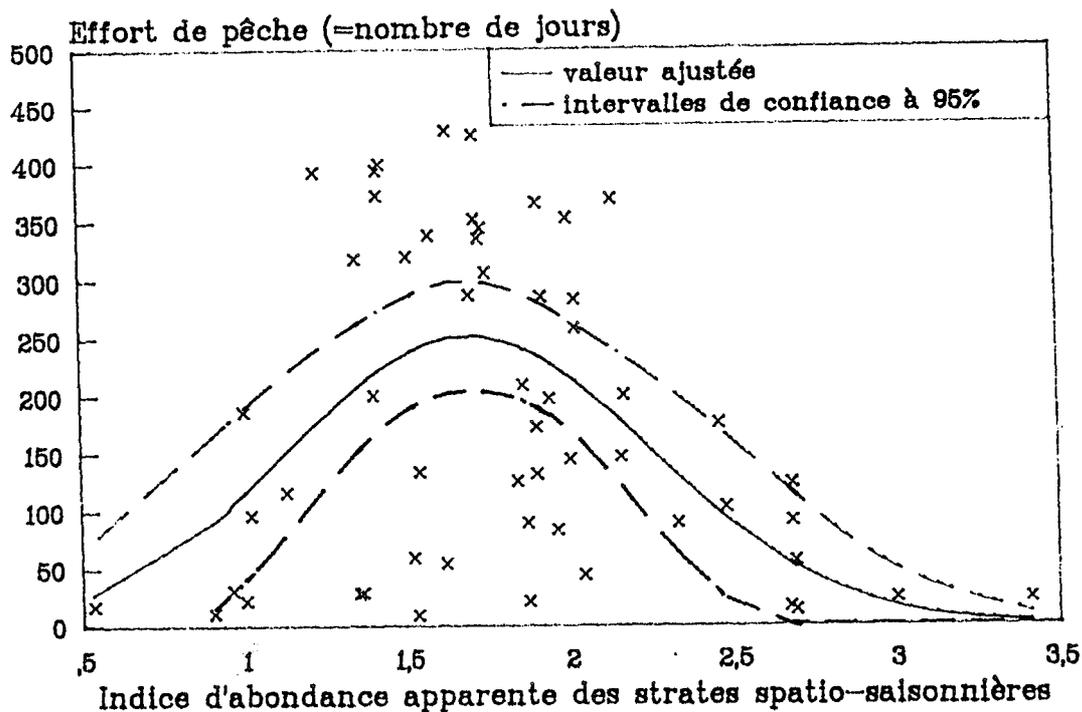


Fig.25 : Relation entre l'abondance apparente et l'effort de pêche des strates spatio-saisonniers. Ajustement des données à une courbe de Gauss (coefficient de détermination : 0,75).

mois	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30	18	15	5	22	116	59	28	5	29	11	9
50	186	393	318	399	392	338	368	428	372	320	18
70	200	287	306	352	335	283	285	344	424	365	31
90	96	133	89	144	175	200	125	172	351	197	12
110	21	83	146	89	91	123	103	131	258	209	5
130	3	9	13	24	23	18	44	16	56	54	

Tab. 9 : Effort de pêche (en jours) par strate spatio-temporelle au cours de la période 1987-1991.

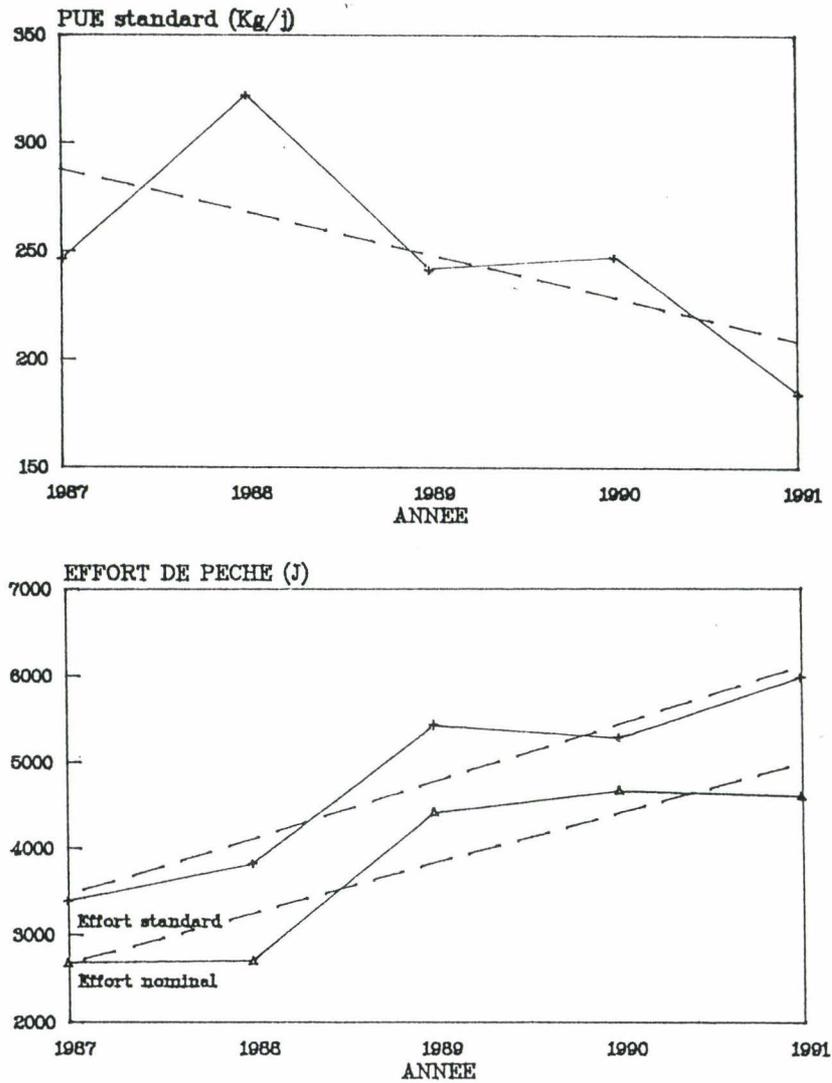


Fig. 26 : Evolutions annuelles entre 1987 et 1991 de la PUE standard d'une part, et des efforts de pêche standard et nominal d'autre part. Ajustement des données à des droites (en tirets).

Année	1987	1988	1989	1990	1991
PUE standard	246	322	241	247	184
Effort standard	3379	3815	5429	5278	5977
Effort nominal	2689	2717	4425	4680	4609

Tab.10 : Evolution annuelle de l'abondance apparente, exprimée en poids vif (kg) par jour de pêche, et de l'effort standard et nominal, exprimés en jours de pêche.

- la PUE standard subit une baisse de 25 % au cours de ces cinq années d'observations, dont la cause principale est attribuée à l'augmentation corrélative de l'effort de pêche standard, qui a augmenté de 77 % pendant la même période.

- une forte corrélation ($R = 0,96$) entre les deux types d'effort, nominal et effectif. Elle signifie que la fréquentation relative des strates est restée inchangée d'une année sur l'autre pendant la période d'observation.

- l'effort de pêche standard est en moyenne, sur les cinq ans, 1,26 fois plus grand que l'effort nominal.

Comment expliquer une telle différence ? La puissance de pêche moyenne de l'ensemble de la flottille, qui est de 1,04, est presque identique à la puissance de pêche du navire de référence (= 1 par définition). Par contre, l'abondance apparente moyenne des strates spatio-saisonnnières est égale à 1,81, valeur largement supérieure à celle de la strate spatio-temporelle de référence. Ainsi l'effort de pêche standard se déroule dans une strate de densité plus pauvre que celle de la moyenne des strates fréquentées par la flottille. C'est ce qui explique que l'effort standard soit plus grand que l'effort nominal.

IV-2.3. Vérification des résultats : comparaison entre PUE calculées et observées

Le carré du coefficient de corrélation entre les PUE logarithmiques observées et calculées est égal à 0,21 : le modèle extrait donc 21 % de la variance totale. La suite de questions que l'on se pose est la suivante : le modèle mérite-t-il d'être retenu pour décrire les fluctuations de PUE ? Est-ce qu'une variable explicative n'a pas été omise ? Dans ce cas, sur quel critère choisir le meilleur modèle possible ?

Le pourcentage élevé de la variance résiduelle constatée (79 %) peut s'expliquer par :

- la faible variabilité des variables explicatives. Les puissances de pêche des navires sont homogènes du fait que les ligneurs sont de même taille, sont originaires du même port d'attache, et pêchent ensemble. Les abondances apparentes des strates spatio-saisonnnières varient peu en raison de la saisonnalité peu marquée des conditions de milieu. Enfin, les abondances apparentes annuelles sont stables : le stock est composé de

nombreuses cohortes qui amortissent les fluctuations naturelles du recrutement et de la mortalité.

- la forte composante aléatoire de l'activité de pêche au vivaneau rouge, Les causes principales étant l'habitat dispersé de l'espèce et son aggrégation en bancs instables.

- l'imprécision des mesures de répartition de captures et d'efforts dans les strates spatio-saisonnnières, qui sont faites au jugé par les pêcheurs.

Dans le modèle simplifié à trois facteurs principaux, les interactions entre facteurs n'ont pas été prises en compte pour ne pas compliquer la procédure de calcul ainsi que pour faciliter l'explication des résultats. Ces interactions existent probablement, le plan d'expérience étant très déséquilibré en raison de l'absence de plusieurs combinaisons de facteurs : sur un total de 14 840 cellules possibles (52 bateaux, 56 strates spatio-saisonnnières, 5 années), 4153 données ont été enregistrées avec souvent plusieurs données par cellule. Le pourcentage de données manquantes est donc supérieur à 72 %. Il est vraisemblable que certains bateaux ont fréquenté de préférence ou exclusivement certaines strates spatio-saisonnnières, que certains bateaux ne sont apparus qu'au cours d'une année ou deux, et que certaines strates ont été rarement fréquentées au cours des 5 années d'observations.

Dans ces conditions, le modèle pourrait être reformulé en introduisant les trois interactions entre les trois facteurs pris deux à deux, sans tenir compte de l'interaction de 2^{ème} ordre entre les trois variables. Le nouveau modèle s'écrirait :

$$(11) \quad u_{\ell} = p_{b(\ell)} + a_{s(\ell)} + d_{k(\ell)} + p_{a_{bs}(\ell)} + p_{d_{bk}(\ell)} + a_{d_{sk}(\ell)} + \varepsilon_{\ell}$$

avec comme variables supplémentaires $p_{a_{bs}}$, interaction entre les facteurs b et s, $p_{d_{bk}}$, interaction entre les variables b et k, et $a_{d_{sk}}$, interaction entre les variables s et k.

La comparaison entre la somme des carrés des résidus du modèle modifié, et celle du modèle simplifié sera faite à l'aide de la variable F :

$$F = \frac{\frac{SCE_r(11) - SCE_r(6)}{DDL(11) - DDL(6)}}{\frac{SCE_r(6)}{DDL(6)}}$$

avec SCE_r la somme des carrés des écarts des résidus, DDL le nombre de degré de liberté, et entre parenthèses la référence du modèle auquel se rapporte la variable. On testera l'hypothèse que les sommes des carrés des écarts sont égales, qui sera acceptable si F ne s'écarte pas significativement de 1.

L'intérêt de cette complication est que, en plus d'un gain attendu en terme de variance expliquée, les estimations des facteurs principaux ne seront pas les mêmes selon que l'ajustement sera réalisé en présence ou en absence d'interactions. Mais, à notre avis, ces interactions ne peuvent qu'être faible en raison même de la faible variabilité des facteurs principaux.

IV-3. CONCLUSION PROVISOIRE : ESTIMATION DE LA PRODUCTION EN FONCTION DE L'EFFORT DE PECHE

La première partie de ce chapitre a été consacrée à l'estimation des captures annuelles de vivaneau rouge provenant de la ZEE guyanaise. Le traitement des PUE, objet de la deuxième partie, a permis d'extraire des efforts standards annuels. Nous allons maintenant analyser la relation entre l'effort standard et la production.

Nous disposons de 5 observations annuelles, ce qui est insuffisant d'un point de vue statistique pour estimer les paramètres de l'équation de Fox. Dans le cas du vivaneau rouge qui est composé d'une quinzaine de classes d'âge (qui est l'âge maximal moyen des espèces de lutjanidés des côtes nord-est d'Amérique du sud), il est nécessaire de disposer au moins de quinze années d'observations pour espérer modéliser la pêcherie. En attendant de pouvoir réaliser un ajustement statistique, il est utile de dégager qualitativement la tendance vers laquelle évolue la production et d'estimer à peu près les valeurs des points les plus intéressants du modèle, qui sont la prise maximale à l'équilibre (PME) et l'effort correspondant f_M .

Les données sont rassemblées dans le tableau 11 et la figure 27 :

Année	Production (t)	Indice d'abondance (kg/j)	Effort standard (j)
1987	755,7	246	3379
1988	1116,8	322	3815
1989	1189,6	241	5429
1990	1185,2	247	5278
1991	999,8	184	5977

Tab. 11 : Données annuelles de production, de rendement et d'effort standard.

En observant chacune de nos données depuis 1988, par rapport à l'année précédente, il apparaît :

- en 1988, une augmentation de la production de 48 % et de l'effort de 13 %.
- en 1989, la production n'augmente que faiblement (6 %) alors que l'effort augmente de 42 %.
- en 1990, la production reste inchangée; l'effort diminue de 3 %.
- enfin, en 1991, la production chute de 16 % malgré une augmentation de l'effort de 12 %.

La série de données disponibles fait donc ressortir un ralentissement de la production de 88 à 90 malgré une augmentation de l'effort de pêche, et, en 1991, une baisse de la production. On a vu au chapitre II que l'on assiste, depuis 1980, à une augmentation continue de la capture et de l'effort. Ainsi, pour la première fois depuis l'expansion de pêcherie, une baisse de production est enregistrée malgré une augmentation de l'effort de pêche.

Finalement, au cours de ces cinq années, l'évolution de la production en fonction de l'effort de pêche laisse penser que le stock serait exploité aux environs de la PME. En prenant les valeurs moyennes comme estimations approchées et provisoires de la PME et de l'effort maximal correspondant f_M , on obtient les résultats suivants :

$$\text{production moyenne} = 1049 \text{ t}$$

$$\text{Effort standard moyen} = 4776 \text{ j}$$

Les couples de données obtenus sont biaisés par rapport à ceux d'un stock en équilibre du fait de l'inobservance des hypothèses suivantes :

- hypothèse d'équilibre : l'effort de pêche a continuellement augmenté depuis 1980 et les captures actuelles surestiment celles du stock en situation d'équilibre. L'équilibre sera atteint après une période de transition égale à la durée de la phase exploitée que l'on peut fixer à une quinzaine d'années. En appliquant la correction de Fox présentée au chapitre méthodologique, l'effort moyen corrigé est égal à 4332 jours, soit 9 % de moins que l'effort standard moyen.
- hypothèse d'une pêcherie fermée : on suppose que la pêcherie guyanaise de vivaneau rouge ne subit pas d'échange avec les stocks voisins. Or, des bateaux ont fréquenté en 1990 et surtout en 1991 la ZEE brésilienne, augmentant ainsi artificiellement la production guyanaise.

Ces deux biais vont dans le sens d'une surévaluation de la production pour un effort de pêche donné, par rapport à un stock en équilibre.

Cette conclusion provisoire et partielle sera reprise et complétée au chapitre VI, après avoir recalées entre elles l'analyse globale qui vient d'être présentée, et l'analyse structurale qui fait l'objet du prochain chapitre.

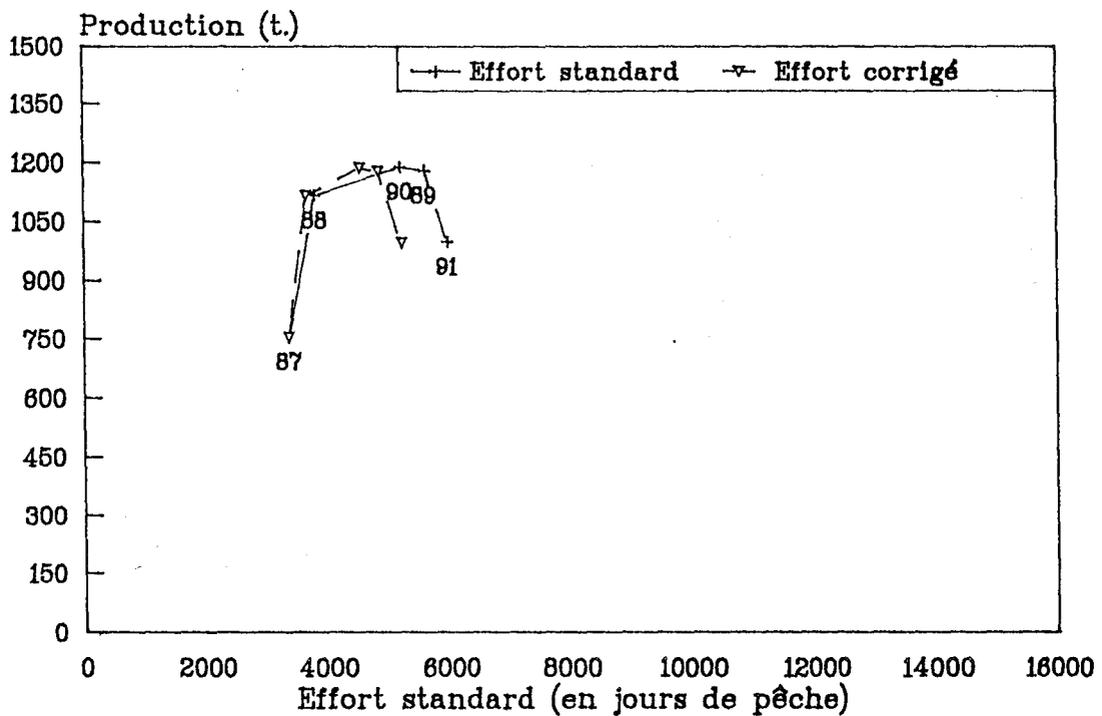


Fig. 27 : Evolution de la production (t.) annuelle de vivaneau rouge en fonction de l'effort de pêche standard.

V- ANALYSE STRUCTURALE

V- ANALYSE STRUCTURALE DE LA DYNAMIQUE DU STOCK DE VIVANEAU ROUGE

V-1. ACQUISITION DES PARAMETRES BIOLOGIQUES NECESSAIRES A L'ANALYSE

Les paramètres biologiques dont on doit avoir connaissance pour établir le modèle analytique sont :

- les périodes de reproduction et l'âge de première maturité sexuelle, de façon à séparer la biomasse féconde de la biomasse totale.
- les paramètres de croissance du modèle de Von Bertalanffy qui permettront de transformer les intervalles de longueur en intervalles de temps.
- la relation taille/poids, qui sera utilisée dans le calcul de la biomasse d'une classe de taille dont l'effectif est connu.
- le coefficient M de mortalité naturelle, qui permettra de calculer le coefficient de mortalité totale en additionnant les mortalités naturelle et par pêche.
- la sex-ratio. La détermination de la sex-ratio permettra de répartir les poissons éviscérés en individus mâles et femelles, tous les paramètres biologiques devant être déterminés pour les deux sexes séparément.

V-1.1. Sex-ratio

Sur un échantillon de 2753 poissons dénombrés à bord des ligneurs vénézuéliens, le pourcentage d'individus mâles est de 50,02 %. Il est donc égal à la valeur théorique de 50 %, à l'incertitude près de la mesure.

Plus précisément, les résultats obtenus par campagne sont les suivants (Tab.12) :

Campagne	Effectifs capturés N	% d'individus mâles observés	Intervalles de confiance à 95% de la proportion $p = 0,5$
L7	742	51,35	46,40 ; 53,60
L8	816	52,45	46,57 ; 53,43
L10	295	45,76	44,29 ; 55,71
L11	900	48,11	46,73 ; 53,27

Tab.12 : Comparaison des sex-ratios observées et des intervalles

de confiance de la proportion théorique $\left(\pm 1,96 \sqrt{\frac{p(1-p)}{N}} \right)$ avec $p = 0,5$

Les pourcentages observés d'individus mâles tombent tous à l'intérieur des intervalles de confiance du pourcentage théorique 50 %.

La sex-ratio peut évoluer en fonction de l'âge.. Elle dépend de :

- la croissance. Pour une même taille, le groupe d'animaux qui a la croissance la plus rapide sera le groupe le plus jeune, et donc le plus nombreux.
- la sélectivité. La rétention d'un groupe peut varier avec la longueur, accroissant l'effet de la croissance différentielle.
- la vulnérabilité. Des différences de comportement selon le sexe peuvent survenir à certaines saisons de l'année.

Des sex-ratios déséquilibrées ont été observées à l'échelle des bancs. Par exemple, les observations faites sur le banc numéro 5 lors de la campagne L₁₁ montrent un pourcentage d'individus mâles anormalement bas de 41,45 % sur un effectif capturé de 234 individus, significativement différent de 50 %. Ainsi un banc de vivaneau rouge est composé d'individus de même taille se déplaçant à la même vitesse de nage et aussi d'individus qui ont des similitudes de comportement et qui sont déséquilibrés vis-à-vis de la sex-ratio.

V-1.2. Reproduction

V-1.2.1. Périodes de ponte

Nos observations se déroulent durant les mois de juillet, août, octobre et novembre de l'année 1991 (Fig.28). A chaque campagne, les ovaires de 5 individus par classe de taille ont été prélevés, dans la mesure du possible. Les nombres totaux d'individus échantillonnés sont de 157 individus en juillet, 167 en août, 117 en octobre et 182 en novembre. Les périodes de ponte seront déterminées en suivant l'évolution saisonnière du RGS des individus adultes de genre femelle : une forte baisse du RGS signifie une émission des gamètes dans le milieu. La figure montre également une relation du RGS avec la taille individuelle. Cette relation sera analysée au prochain chapitre.

En juillet la majorité des ovaires était en voie de maturation (stade III de l'échelle macroscopique de maturité sexuelle) et quelques uns en pré-ponte (stade IV). Un mois plus tard, c'était l'état de repos sexuel qui dominait (stades I et II), de même qu'en octobre et novembre.

Pour interpréter ces résultats partiels nous nous sommes appuyés sur des études concernant le stock nord-brésilien. Les travaux d'Almeida (1964), de Fonteles-filho (1972) et de Geistera et Ivo (1973) montrent que ce stock se reproduit au large entre octobre et avril, avec un maximum principal en mars et un maximum secondaire en octobre.

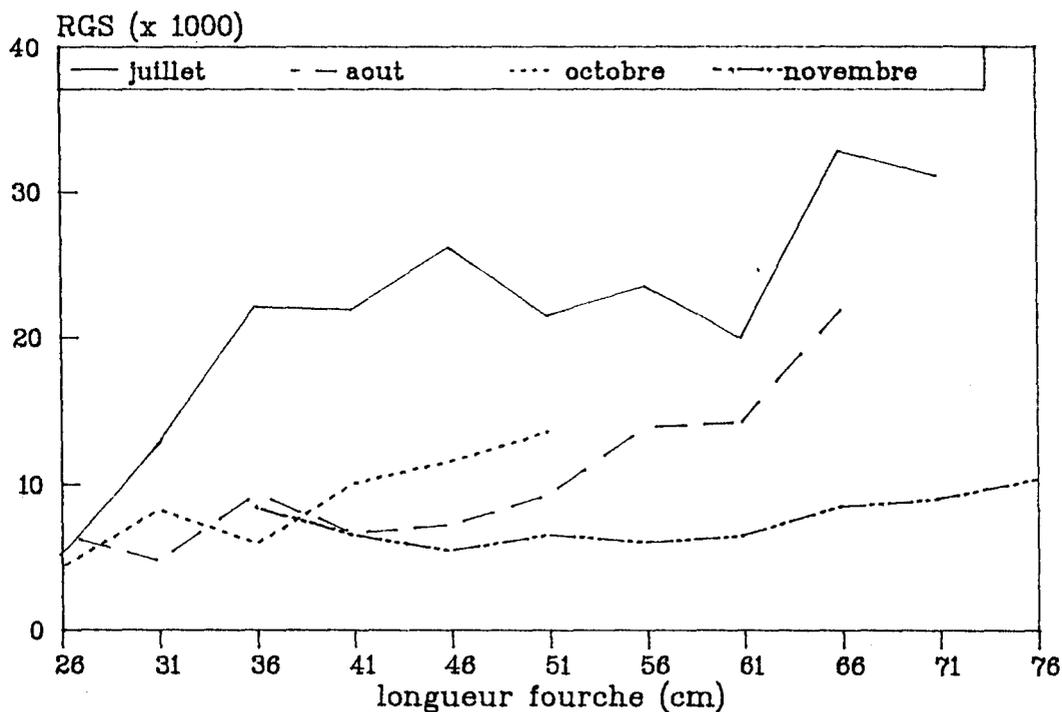


Fig. 28 : Evolution du RGS du sexe femelle en fonction de la taille des individus et du mois de prélèvement.

On peut penser que le stock guyanais, qui rencontre des conditions de milieu voisines, présente la même saisonnalité. Cependant deux observations dans nos prélèvements contredisent cette hypothèse : c'est la présence d'individus matures en juillet et leur absence en octobre. Nos observations sont cohérentes avec le cycle du stock brésilien si l'on admet que les individus en voie de maturation sexuelle observés en juillet ont migré au large au niveau de la pente continentale pour se reproduire trois mois plus tard. En août et octobre il ne restait, sur le plateau continental, que des individus en repos sexuel ou immatures. En novembre tous les individus rencontrés étaient en repos sexuel tant sur le plateau que sur le talus continental.

Ou bien on considère que le vivaneau rouge a une activité de ponte en juillet. Le stock guyanais aurait alors une saison de ponte restreinte autour du mois de juillet, ce qui est, d'après Grimes (1987), une caractéristique commune des espèces néritiques de lutjanidés.

Le déterminisme du cycle de ponte n'est pas évident. Cushing (1975), Lambert et Ware (1989), et d'autres auteurs suggèrent que ce cycle doit coïncider avec le cycle de production du milieu, pour que les larves puissent trouver la nourriture nécessaire à leur survie. Les facteurs abiotiques comme le vent et le courant joueraient aussi un rôle : leur vitesse et leur direction pourraient réduire ou au contraire accentuer la perte des larves pélagiques, ou bien favoriser ou non la colonisation d'un vaste territoire. On a vu au chapitre II que le milieu présentait une faible saisonnalité, notamment de la production primaire. Les vivaneaux rouges auraient donc intérêt à pondre plusieurs fois sur une longue période pour assurer une meilleure distribution de la nourriture aux larves. La ponte multiple est d'ailleurs la règle générale des poissons tropicaux (Fontana, 1979).

En définitive, nos observations sont trop peu abondantes pour dresser un schéma précis du cycle de reproduction. Par analogie avec la reproduction des poissons tropicaux, il est probable que le vivaneau rouge ait une ponte continue avec deux ou trois pics de plus fortes activités reproductrices. Des observations complémentaires seraient nécessaires pour préciser ce cycle et sa variabilité inter-annuelle.

V-1.2.2. Longueur de première maturité sexuelle

Le prélèvement du mois de juillet (moment où les gonades sont en voie de maturation : stade III), nous permet de préciser à quelles longueurs les individus deviennent matures pour la première fois.

En effet, nous voyons (Fig.29) qu'à partir de la longueur de 26 cm le RGS augmente progressivement, pour atteindre sa valeur maximale à 38 cm. Cette croissance du RGS s'explique par l'augmentation progressive du pourcentage de femelles ayant atteint leur maturité sexuelle, qui passe de 0 à 100 % entre 26 et 38 cm. Les points remarquables sont les suivants :

- L_{25} où 25 % des individus sont matures = 29 cm
- L_{50} où 50 % des individus sont matures = 32 cm
- L_{75} où 75 % des individus sont matures = 35 cm
- L_{100} où 100 % des individus sont matures = 38 cm

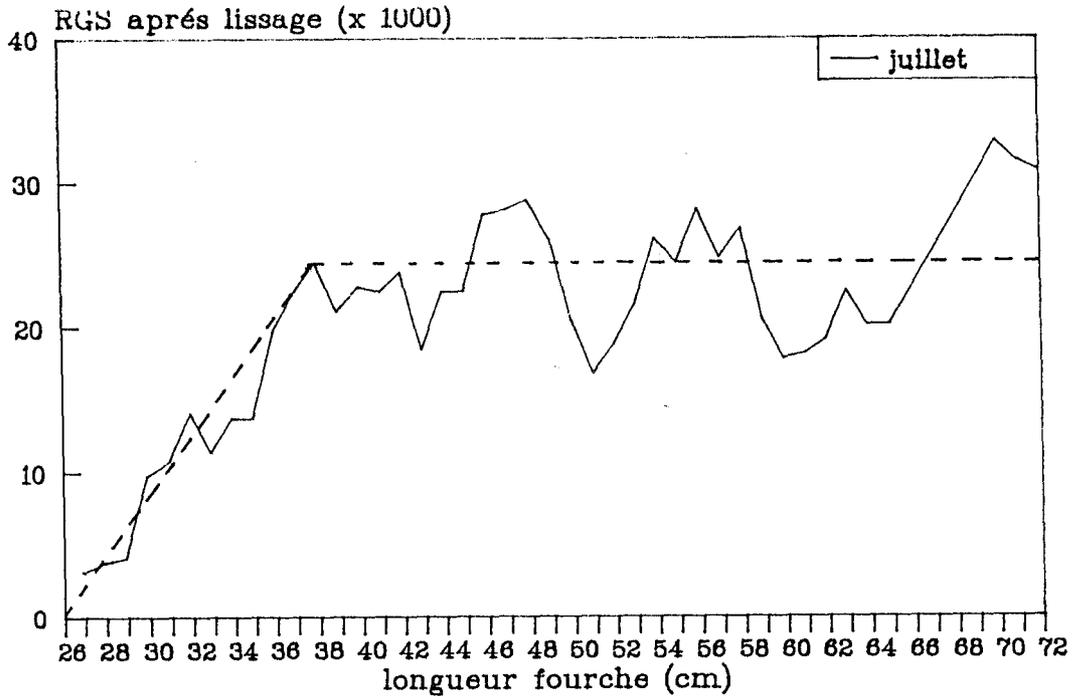


Fig. 29 : Evolution du RGS du sexe femelle en fonction de la taille (longueur à la fourche) des individus. Le lissage des données est obtenu par moyenne mobile sur trois classes de taille. Ajustement des données à deux droites (en tirets) qui se coupent à la taille L_{100} à laquelle 100 % des individus sont matures pour la première fois.

Dans le modèle structural l'acquisition de la maturité sexuelle en fonction de la taille est décrite par une fonction logistique. On adoptera les paramètres suivants :

$$L_{50} = 32\text{cm} \quad L_{75} - L_{25} = 6\text{cm}$$

La valeur de L_{50} très inférieure aux valeurs indiquées par Almeida (1965). Cet auteur a déterminé le paramètre L_{50} par observations macroscopiques des gonades d'un échantillon de vivaneaux rouges provenant du stock nord-est brésilien, situé en latitude entre 33 et 38° s : $L_{50} = 46$ cm pour les femelles et 47 cm pour les mâles (longueur à la fourche).

Grimes (1987) a effectué une classification des espèces de lutjanidés en fonction de leur taille de première maturité sexuelle, exprimée en pourcentage de la longueur maximale rencontrée dans les captures, et attribue les différences constatées aux quantités variables de nourriture disponible dans les milieux. Mais cette longueur maximale dépend du rapport Z/K ⁽¹⁾, de la variabilité individuelle de croissance, et enfin de la taille de l'échantillonnage. Elle est donc très variable et n'a pas de signification statistique. Nous ne retiendrons donc pas le paramètre de Grimes.

(1) Z/K = rapport entre le coefficient de mortalité totale Z et le paramètre de croissance K .

V-1.3 Estimation des paramètres de croissance par analyse des distributions en taille

V-1.3.1. Méthodes graphiques d'analyse modale

A) ANALYSE MODALE DES COHORTES D'ANIMAUX JUVENILES (Fig. 30)

Les vivaneaux rouges capturés au chalut de fond sont presque tous des individus immatures. Leur distribution en taille révèle souvent des cohortes bien séparées les unes des autres (Fig.31). Deux cohortes sont identifiables dans nos échantillons : leurs modes sont à 19 et 27 cm en mars, 21 et 28 cm en mai, 13 et 24 cm en juillet. On peut tenter d'expliquer le déplacement saisonnier de ces cohortes. Le mode de 19 cm du mois de mars se retrouverait ainsi à 21 cm en mai et à 24 cm en juillet.

Les valeurs des modes 27 cm en mars, 28 cm en mai, et 13 cm en juillet peuvent servir à décrire la même courbe de croissance sous l'hypothèse d'absence de variabilité interannuelle de croissance (Fig. 30). Cette figure montre que la croissance serait discontinue et que le deuxième trimestre serait une période d'accélération de croissance. La durée qui sépare deux cohortes contigües serait égale à un an.

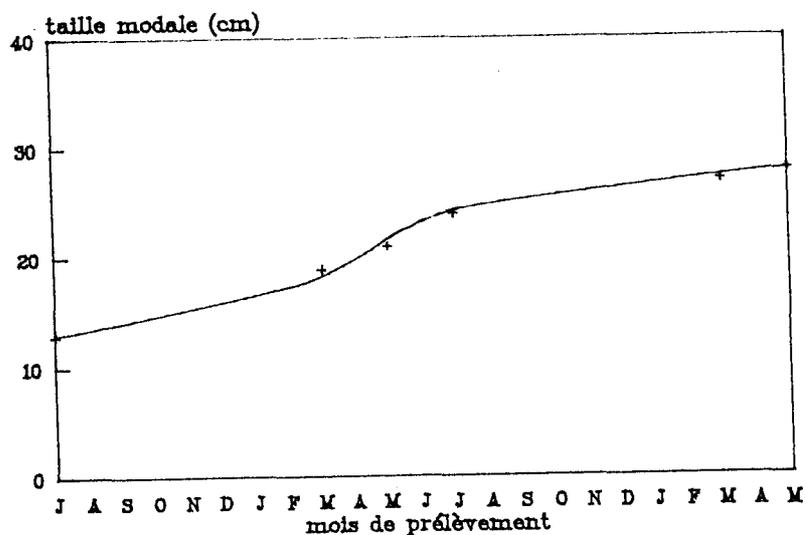
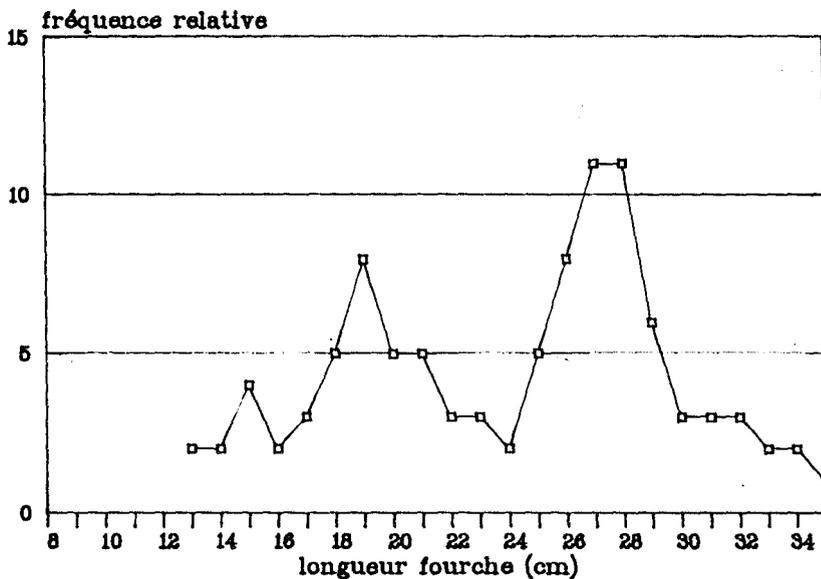
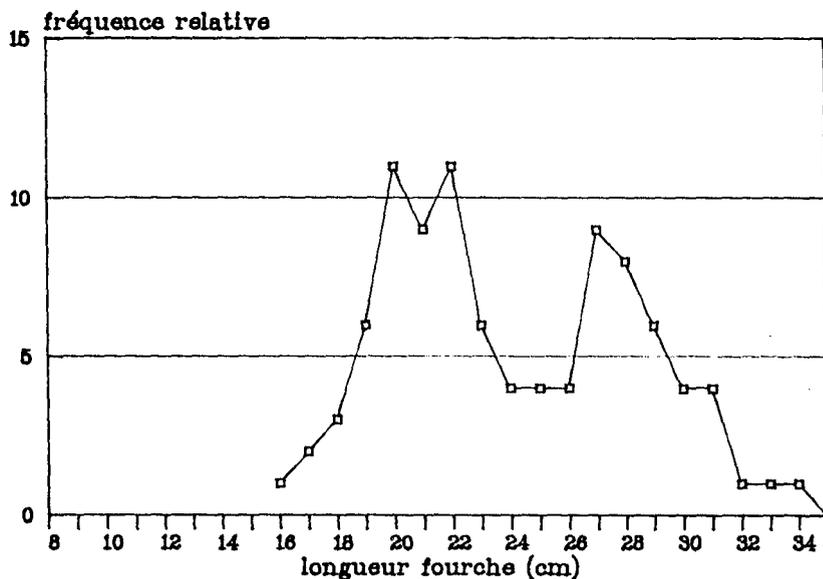


Fig. 30 : Evolution saisonnière de la taille modale d'une cohorte.



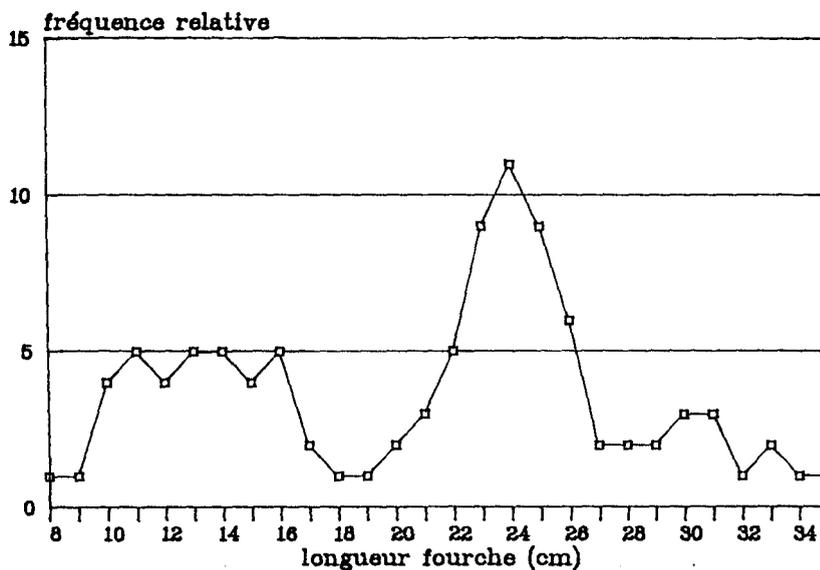
N = 206 individus

campagne GV3 mai 1989



N = 903 individus

campagne GV2 juillet 1987



N = 856 individus



Fig. 31 : Evolution saisonnière des fréquences de taille des vivaneaux rouges capturés au chalut de fond.

B) ANALYSE MODALE DES COHORTES D'ANIMAUX ADULTES

L'analyse porte sur les poissons capturés à la ligne. On remarque d'emblée que les distributions en taille sont très variables d'une campagne à l'autre (Fig.32). La méthode de Bhattacharya (1967) montre qu'elles sont composées à plus de 80 % de leur effectif par trois ou quatre cohortes (Tab.13a). Lorsqu'on compare d'une campagne à l'autre les positions des modes obtenus, on constate qu'elles ne suivent pas de façon logique le déplacement saisonnier des cohortes.

CAMPAGNE	MODE (cm)						
	Individus mâles				Individus femelles		
L7	35,6	40	43,4	47,3	36,6	42,2	48,2
L8	34,9	39	44		36,2	42,1	46,1
L11			42,9	46,9		44,1	47,9
Moyenne	35,3	39,5	43,4	47,1	36,4	42,8	47,4

Tab. 13a : détermination par la méthode de Bhattacharya des modes des principales cohortes pêchées à la ligne à main.

En outre, une ambiguïté persiste dans la concordance entre cohortes mâles et femelles. La cohorte des individus femelles dont le mode est à 42,8 cm semble se superposer aux cohortes des individus mâles dont les modes sont à 39,5 et 43,4 cm. Avons-nous affaire à une cohorte unique dédoublée chez les individus mâles ou, au contraire, la macro-cohorte des individus femelles est-elle en réalité composée de 2 cohortes ? Cette incertitude est due à l'échantillonnage, la méthode étant très incertaine. Les raisons de cette imprécision dans le positionnement des modes sont nombreuses. On peut évoquer :

- 1) l'hétérogénéité bathymétrique des secteurs fréquentés et donc des distributions en taille des poissons pêchés d'une campagne à l'autre.
- 2) la variabilité inter-bancs des tailles moyennes à l'intérieur d'une même zone de pêche.
- 3) l'influence de la sélectivité des hameçons qui modifie la capturabilité des poissons selon leur taille et produit un biais dans le positionnement des modes.
- 4) la variabilité individuelle de croissance qui augmente l'imprécision des résultats et rend la méthode inapplicable chez les individus âgés.
- 5) les migrations possibles et différentes chez les individus mâles et femelles.

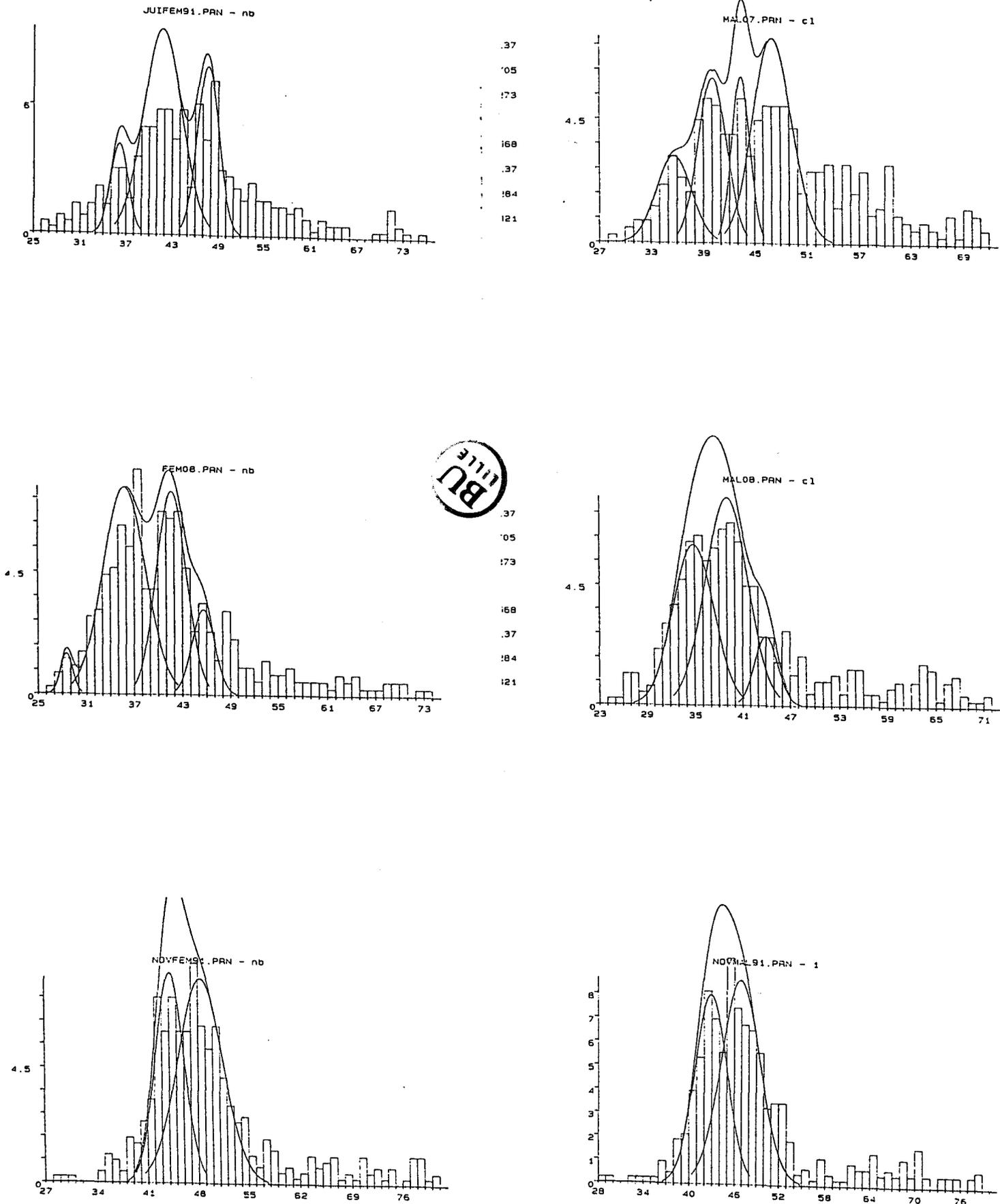


Fig. 32 : Evolution saisonnière des fréquences de taille des vivaneaux rouges capturés à la ligne et détermination des composantes gaussiennes par la méthode de Bhattacharya.

La méthode n'est pas à écarter définitivement, mais demande qu'un certain nombre de conditions d'échantillonnage soient remplies, en particulier :

- de ne pas changer de lieu de pêche.
- de mesurer un grand nombre d'individus par campagne de façon à compenser l'hétérogénéité en taille et sexe des bancs de vivaneau rouge.
- d'utiliser si possible un engin de pêche moins sélectif que l'hameçon.

Ces conditions n'ont pas été réalisées dans notre matériel. En conclusion, les valeurs trop incertaines des modes des cohortes d'individus adultes ne seront pas retenues dans la suite de l'analyse. Seules les positions obtenues des modes des cohortes d'individus immatures vont nous permettre d'estimer les paramètres de l'équation de Von Bertalanffy, à l'aide de la méthode de linéarisation de Lookwood. Auparavant, une estimation de L_{∞} sera recherchée par la méthode de Powell.

V-1.3.2. Méthodes basées sur d'autres descripteurs statistiques que les modes

A) ESTIMATION DU PARAMETRE L_{∞} PAR LA METHODE DE POWELL (1979)

Cette méthode fournit, à partir d'une distribution de fréquences en longueur des captures, une estimation des paramètres L_{∞} et Z/K . Notre analyse porte sur la distribution moyenne des captures sur trois années, de 1989 à 1991, de façon à atténuer les incertitudes d'estimation des captures, les variations du recrutement et du régime d'exploitation. Les résultats obtenus sont, pour une taille d'entrée dans les captures de 41 cm :

$L_{\infty} = 95,5 \text{ cm}$;	$\frac{Z}{K} = 4,348$
--------------------------------	---	-----------------------

Le coefficient de mortalité totale Z varie avec la longueur, l'hypothèse de constance du rapport Z/K n'étant pas respectée. De nouvelles hypothèses seront nécessaires pour estimer les valeurs par classes de longueur des coefficients de mortalité par pêche. En particulier le paramètre K devra être déterminé au préalable.

B) ESTIMATION DES PARAMETRES K ET L_{∞} PAR LA METHODE DE LOOKWOOD (Fig. 33)

Cette méthode, qui est décrite par Frontier (1991), détermine les paramètres K et L_{∞} par linéarisation de l'équation de Von Bertalanffy. Soient des couples de longueur L_1 et L_2 observées à deux instants successifs t_1 et t_2 . Si on porte sur l'axe des abscisses les

points $\frac{L_1 + L_2}{2}$ et en ordonnée les points $\frac{L_2 - L_1}{t_2 - t_1}$ on obtient une droite de pente = - K qui coupe l'axe des abscisses au point L_∞ .

La valeur de L_∞ déterminée ci-dessus sera prise comme point expérimental de la droite de Lookwood. Comme autres points, on retiendra les 3 couples de classes modales obtenus précédemment à partir des distributions de fréquences en longueur d'animaux juvéniles.

Les résultats de l'ajustement linéaire sont les suivants :

$$Y = -0,12 X + 11,37$$

Le paramètre K est donc estimé à $0,12 \text{ année}^{-1}$ (la droite est de pente égale à - K) et L_∞ à 94,75 cm. (point d'intersection de la droite avec l'abscisse). Si les résultats statistiques de la régression sont corrects c'est que les points expérimentaux sont rares (au nombre de 4) et qu'un point éloigné des autres, L_∞ , joue un rôle à part. Il faut donc entourer les résultats de cette analyse d'une mise en garde : le plan expérimental est déséquilibré. La méthode est statistiquement fautive, mais on peut retenir provisoirement les ordres de grandeur des paramètres recherchés.

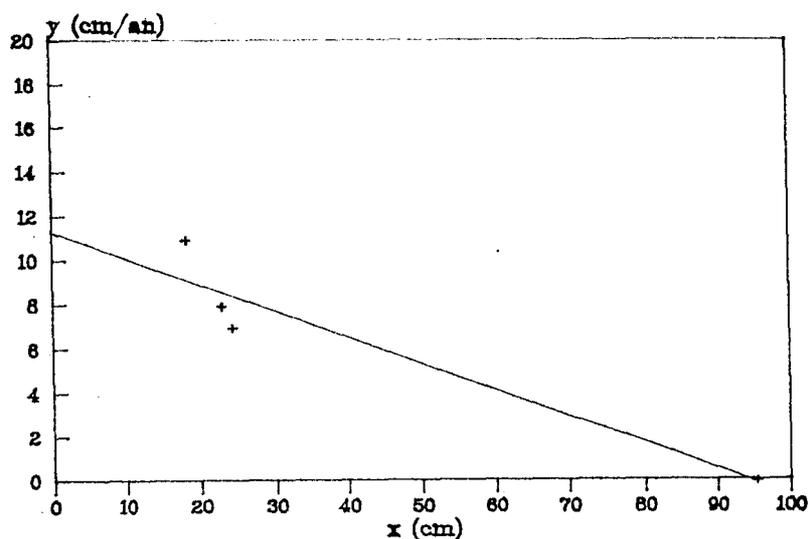


Fig. 33 : Estimation du paramètre de croissance K et L_∞ par la méthode de Lookwood : La droite est de pente - K ; le point d'intersection de la droite avec l'axe des abscisses est égal à L_∞ .

En conclusion l'équation de croissance retenue provisoirement est :

$$L_t = 95 \cdot (1 - e^{-0,12(t-10)})$$

V-1.3.3. Méthodes d'analyse modale par optimisation numérique sans hypothèse de normalité

Les étapes de l'analyse sont, rappelons-le, les suivantes. L'utilisateur fournit en entrée les bornes d'intervalles d'exploration des valeurs possibles des paramètres K et L_{∞} . Pour chaque combinaison de valeurs de ces deux paramètres, la méthode calcule le score d'une fonction objectif qui mesure le degré de concordance entre les modes expérimentaux et les modes théoriques : plus le score est élevé, plus forte est la corrélation. En sortie, la méthode fournit les scores de la fonction objectif et laisse à l'utilisateur le soin de choisir la meilleure combinaison des paramètres K et L_{∞} .

Deux méthodes sont disponibles, ELEFAN et SHEPERD. Leurs différences proviennent d'une part dans la définition des fonctions objectifs, d'autre part dans le lissage des données par des opérations préliminaires.

L'analyse porte premièrement sur les distributions en taille des captures réalisées en pêche expérimentale à la ligne à main, deuxièmement sur la distribution en taille des captures commerciales, moyennées sur les années 1989-1991.

A) METHODE DE SHEPERD

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants où figurent les scores de la fonction de Sheperd :

		K									
		0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24
L_{∞}	82,5	34,3	35,5	27,5	33,2	10,2	1,7	40,2	8,6	19,6	16,4
	85	5,8	21	10,1	24,1	5,8	37,1	12,2	15,8	11,1	20,3
	87,5	21,1	13,9	19,5	18,8	14,8	29,5	12,4	8,7	30,4	33,1
	90	9,7	10,3	24,5	3,6	43,4	6,6	13,5	13,4	30	27,9
	92,5	9,7	18,6	9,7	24,1	40,6	6	6,7	18,6	26,4	33,9
	95	28,4	9,9	15,4	20,4	26,8	18,9	15,9	25,7	27,5	55
	97,5	21,8	31,8	11,7	30,5	17,3	23,6	24,9	11,7	49,2	41,6
	100	26,7	19,4	24,3	34,8	11,2	15	14,7	43,1	29,8	61,5
	102,5	24,7	23,3	37,3	7,1	22,3	30,8	27,7	19,6	57,9	37,4
	105	9,6	11,2	19,2	6,5	20,6	11,7	27,7	44,8	36,6	72,1

		K									
		0,06	0,08	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24
L_{∞}	82,5	3,3	7	7,8	5,7	4,5	15,6	8,3	13,7	9,6	12,8
	85	1,7	8,4	2,3	15,5	16,5	9,9	9,9	8	15,1	11,9
	87,5	4,4	5,6	5,2	5,5	19,4	13,9	6,6	15	12,2	9,9
	90	7,3	8,8	5,5	11,8	13,1	9,5	12,2	15	12,6	12,4
	92,5	7	9	6,3	19,4	18,5	9,8	13,7	17,8	10,6	4,7
	95	5,3	1,6	7,1	12,4	13,3	13	17,4	12,1	3,4	8,1
	97,5	2,7	8,6	6,8	17,5	14,2	9,6	17,5	5	8,2	7,6
	100	6,6	1,8	17,7	16,9	8,3	19,8	9,7	6,6	10	10,4
	102,5	5,7	7,1	15,3	16,7	12	15,2	8,7	10,1	9,4	15,1
	105	10,8	11,7	17,1	14,8	17	13,2	7,7	11,2	11,2	14

Tab. 13b : Scores de la fonction objectif de SHEPERD. Traitement des distributions en taille des captures commerciale (en haut) et expérimentale (en bas). Les valeurs encadrées signalent les courbes de valeurs maximales.

Dans chaque tableau d'analyse on observe plusieurs courbes de valeurs maximales, chacune d'elles mettant en évidence une corrélation forte et négative entre les deux paramètres de croissance. Plusieurs couples de valeurs sont donc également probables, et compte tenu des estimations obtenues précédemment, les valeurs que l'on peut retenir sont les suivantes :

L	K
90	0,14
95	0,12
100	0,11

distribution expérimentale

L	K
90	0,14
95	0,12
100	0,12

distribution commerciale

On remarque la similitude des estimations obtenues dans les deux types de distribution.

B) METHODE D'ELEFAN

Les scores de la fonction objectif du programme ELEFAN sont les suivants :

	90	91,5	93	94,5	L_{∞} 96	97,5	99	100,5	102
0,24	77	63	63	79	79	64	56	56	58
0,228	112	124	63	63	72	79	79	56	56
0,216	103	112	127	110	63	71	79	79	70
0,204	116	103	112	127	110	101	71	79	79
0,192	106	112	103	112	127	127	101	101	113
0,18	97	106	119	99	99	127	127	112	101
0,168	15	14	14	106	109	99	99	122	127
0,156	11	12	17	13	14	15	97	99	122
0,144	31	31	12	12	12	11	16	15	12
0,132	43	32	31	35	34	12	12	11	12
0,12	43	43	43	48	39	35	31	34	35

	90	91	92	93	94	95	L_{∞} 96	97	98	99
0,25	62	56	54	58	66	55	51	50	57	86
0,239	44	45	57	54	59	67	61	59	51	56
0,228	43	43	45	61	57	53	67	67	58	56
0,217	37	40	50	46	54	58	53	69	73	60
0,206	40	39	38	50	44	47	53	58	66	69
0,195	44	33	36	41	40	45	45	46	47	50
0,184	34	53	45	33	32	41	52	42	55	42
0,173	52	36	36	56	49	36	37	40	49	42
0,162	40	29	21	36	36	61	49	41	29	39
0,151	39	40	41	28	20	37	37	50	65	52
0,14	37	20	31	37	38	42	27	21	37	42

Tab. 13c : Scores de la fonction objectif d'ELEFAN. Traitement des distributions en taille des captures commerciale (en haut) et expérimentale (en bas). Les valeurs encadrées signalent les courbes de valeurs maximales.

On observe donc, comme précédemment, plusieurs courbes de valeurs maximales. Les valeurs retenues des paramètres sont les suivantes :

L	K
90	0,25
95	0,24
100	0,19

distribution expérimentale

L	K
90	0,23
95	0,2
100	0,17

distribution commerciale

Les deux distributions analysées donnent des résultats différents : ainsi pour un L_{∞} fixé, k est plus élevé dans la distribution des captures expérimentales que dans celle des captures commerciales. On retiendra les valeurs moyennes. Pour une valeur de $L_{\infty} = 95$ cm, K est estimé à 0,22.

Ainsi les méthodes ELEFAN et SHEPERD donnent des résultats quelque peu différents : l'estimation du paramètre K est plus élevée dans la première méthode que dans la deuxième (0,22 contre 0,12, à 95 cm).

V-1.3.4. Méthodes d'analyse modale par optimisation numérique avec hypothèse de normalité : Méthode MULTIFAN

Le logiciel MULTIFAN est un outil puissant et simple d'utilisation. Rappelons que la méthode décompose chaque distribution polymodale, dont le nombre total de modes est connu, en une somme de composantes gaussiennes. L'indétermination sur les inconnues est réduite en imposant des contraintes sur les moyennes, les variances des tailles aux âges et sur les proportions des différents groupes d'âge.

Les calculs sont initialisés par deux paramètres, le nombre N de classes d'âge présent dans le jeu de données et le paramètre de croissance K . Pour chacun d'eux, l'utilisateur définit un ensemble de valeurs possibles. Pour chaque couple de valeur, les paramètres de croissance et les proportions des effectifs dans les classes d'âge sont recherchés en utilisant la technique d'ajustement du maximum de vraisemblance de la fonction objectif. Pour réduire les chances d'aboutir à un maximum local, l'espace des paramètres est partitionné en sous-régions qui se chevauchent partiellement.

A chaque recherche, plusieurs hypothèses peuvent être testées. L'utilisateur peut fixer des modes avec des intervalles d'exploration, de sorte que le modèle ajuste les modes évidents de façon convenable. Parmi les autres hypothèses à tester, le logiciel propose l'existence d'une relation entre l'écart-type et la moyenne d'une cohorte, et l'existence d'une sélectivité sur les poissons de la première classe d'âge.

Pour comparer entre eux les différents ajustements, un test du χ^2 est utilisé. Ce dernier considère que, si n paramètres sont additionnés au modèle, l'augmentation de la fonction objectif est asymptotiquement distribuée comme une variable aléatoire du χ^2 avec n degrés de liberté.

L'expérience montre que ce critère statistique de sélection fournit habituellement une ou deux solutions pour le meilleur ajustement, mais il est possible qu'il ne fournisse aucune solution. Il est important de souligner que la solution finale retenue est quelque peu arbitraire - c'est seulement la moins mauvaise solution sur un plan statistique.

Dans le cas des distributions annuelles des captures commerciales, aucun résultat acceptable n'a été obtenu. C'est pourquoi l'analyse porte seulement sur les distributions en taille des captures expérimentales réalisées à la ligne à main, pour chaque sexe séparément.

A) ANALYSE DES COHORTES D'INDIVIDUS FEMELLES

	0,1	0,11	K 0,12	0,13	0,14	
N	6	2531,05 21	2502,74 21	2500,4 21	2497,59 21	2437,68 21
	7	2531,49 24	2530,36 24	2529,49 24	2527,3 24	2523,28 24
	8	2547,09 27	2547,07 27	2547,07 27	2544,27 27	2543,75 27
	9	2543,86 30	2545,7 30	2545,29 30	2547,51 30	2547,52 30
	10	2543,99 33	2542,95 33	2549,91 33	2550,93 33	2552,1 33
	11	2584,5 36	2549,93 36	2545,17 36	2545,55 36	2553,54 36
12	2584,33 39	2585,01 39	2553,41 39	2540,2 39	2540,6 39	

	0,1	0,11	K 0,12	0,13	0,14	
N	6		120 0,1	113,4 0,11	109,2 0,12	107,8 0,13
	7	135,6 0,08	117,4 0,1	111,9 0,11	107,4 0,12	102 0,13
	8	105,3 0,11	104,6 0,11	104,6 0,11	99,5 0,12	96,4 0,13
	9	113,1 0,1	95,4 0,12	94 0,13	92,5 0,14	91,5 0,14
	10	102,3 0,11	101,6 0,11	88,5 0,13	86,4 0,14	84,7 0,15
	11	95,9 0,11	97 0,1	98,6 0,11	91,2 0,14	81,6 0,16
12	94,1 0,11	95,8 0,1	90,6 0,11	91,9 0,12	89,1 0,14	

Scores de la fonction objectif (en haut) et
croissance nombre de paramètres estimés (en bas)

Estimation des paramètres
 L_{∞} (en haut) et K (en bas)

Tab. 13d : Traitement par le programme MULTIFAN des distributions en taille d'individus femelles. Résultats obtenus pour les différentes valeurs initiales du nombre de classes d'âge N et du paramètre de croissance K.

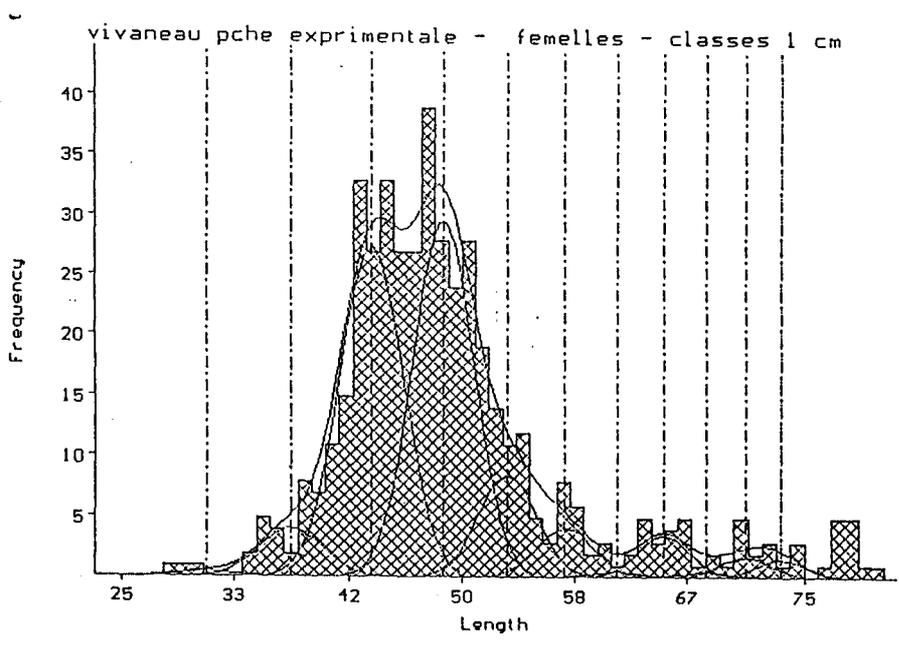
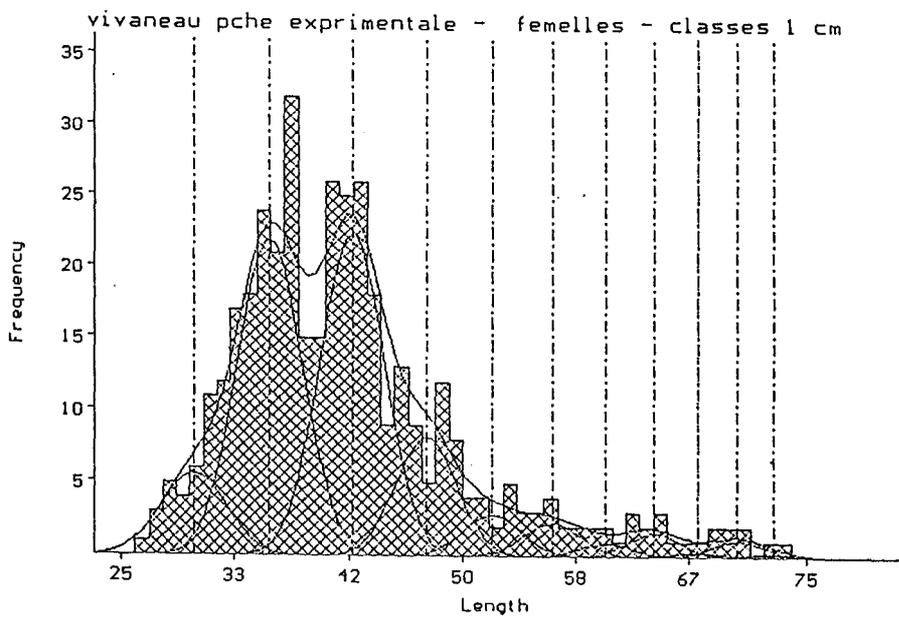
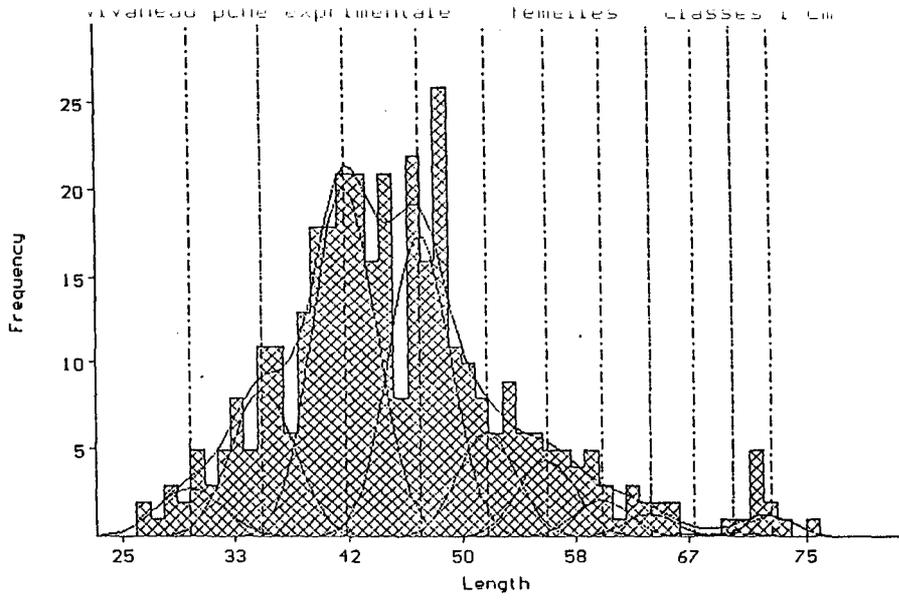


Fig. 33b : Détermination par le programme MULTIFAN des composantes gaussiennes de trois distributions polymodales d'individus femelles.

Sur l'ensemble des résultats obtenus, le test du χ^2 a sélectionné la solution suivante :

$N = 11$ ans

$K = 0,11 \text{ an}^{-1}$ (coefficient de variation = 3,8 %)

$L_{\infty} = 95,9 \text{ cm}$ (coefficient de variation = 1,6 %)

Coefficient de corrélation (K, L_{∞}) = - 0,98

B) ANALYSE MODALE DES COHORTES D' INDIVIDUS MALES

	0,1	0,11	K 0,12	0,13	0,14	
N	6	2554,04 20	2529,58 20	2525,73 20	2523,19 20	2519,6 20
	7	2562,04 23	2556,44 23	2542,6 23	2539,83 23	2537,7 23
	8	2566,56 26	2568,06 26	2566,1 26	2564,18 26	2559,29 26
	9	2574,98 29	2570,03 29	2569,06 29	2570,94 29	2569,04 29
	10	2575,35 32	2582,76 32	2577,78 32	2571,82 32	2570,73 32
	11	2593,4 35	2582,59 35	2586,56 35	2576,59 35	2573,79 35
12	2593,42 38	2588,96 38	2587,03 38	2580,38 38	2578,68 38	

	0,1	0,11	K 0,12	0,13	0,14	
N	6		113,1 0,1	105,4 0,11	101,5 0,12	95,8 0,13
	7		110,1 0,1	102,8 0,11	96,4 0,12	91,6 0,13
	8	120,5 0,07	105,6 0,1	100,7 0,11	96,6 0,12	91,5 0,13
	9	125,5 0,07	100,5 0,1	96,3 0,11	92,3 0,12	88,9 0,13
	10	105,9 0,08	100,3 0,1	95,7 0,11	89,4 0,12	86 0,13
	11		100,8 0,1	95,3 0,11	88,6 0,12	84,3 0,13
12	106,2 0,07	95,4 0,1	91,2 0,11	89 0,12	82,3 0,13	

Scores de la fonction objectif (en haut) et
croissance nombre de paramètres estimés (en bas)

Estimation des paramètres
 L_{∞} (en haut) et K (en bas)

Tab. 13e : Traitement par le programme MULTIFAN des distributions en taille d'individus mâles. Résultats obtenus pour les différentes valeurs initiales du nombre de classes d'âge N et du paramètre de croissance K .

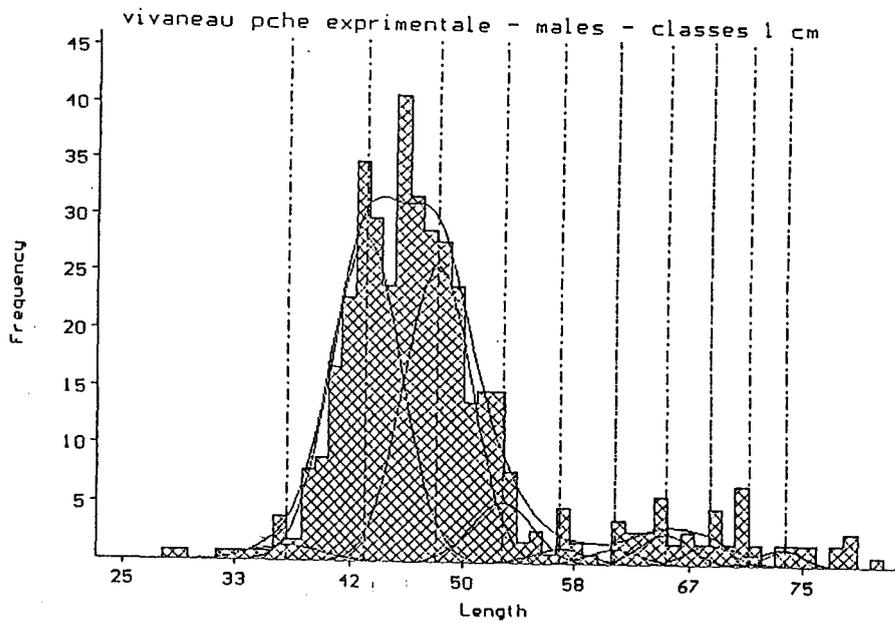
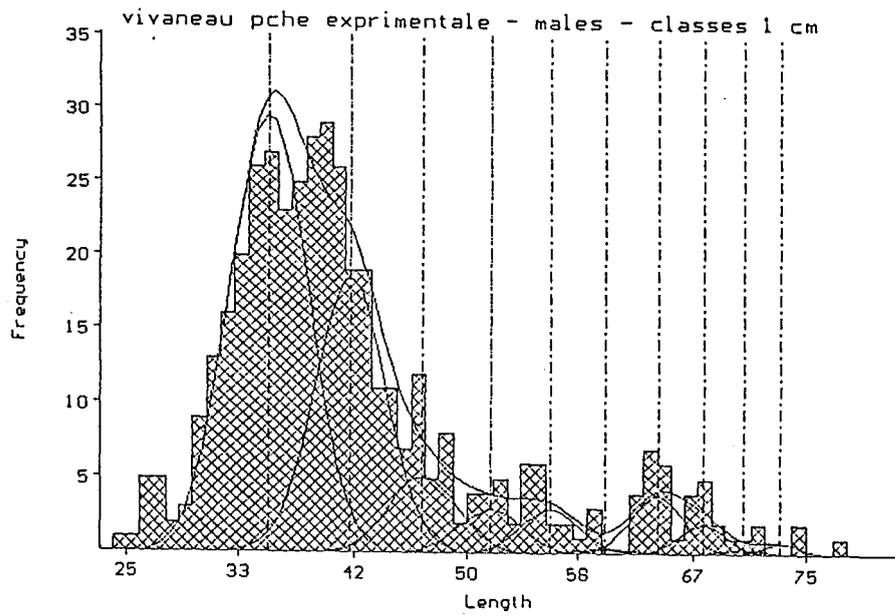
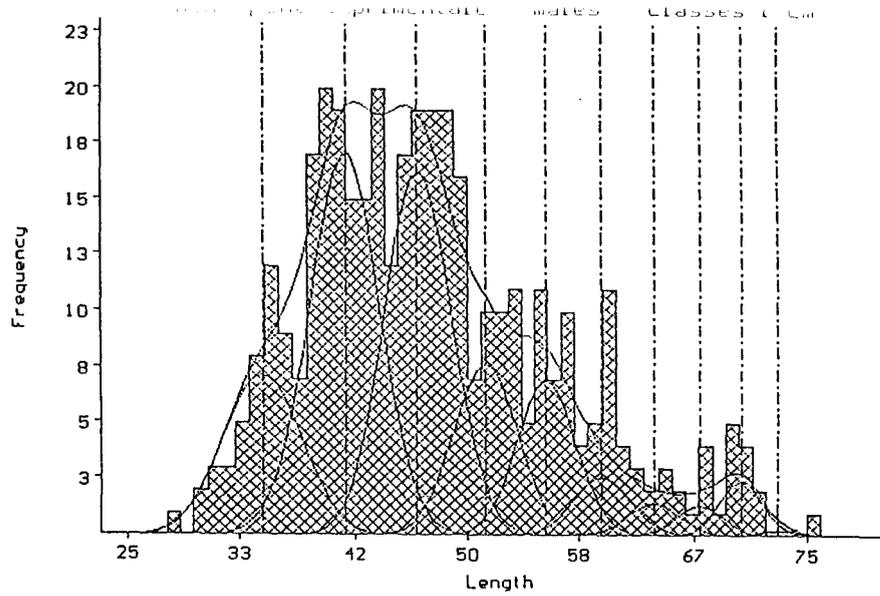


Fig. 33c : Détermination par le programme MULTIFAN des composantes gaussiennes de trois distributions polymodales d'individus mâles.



Sur l'ensemble des résultats obtenus le test du χ^2 ne privilégie aucune solution particulière.. Nous retiendrons donc des intervalles de valeurs possibles pour les inconnues :

N se situe entre 7 et 11 ans

K se situe entre 0,11 et 0,12 an⁻¹

L_{∞} se situe entre 90 et 100 cm

V-1.3.5. Comparaisons des résultats trouvés par les différentes méthodes

Les résultats trouvés sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Méthode	Lookwood (+ Powell)	Sheperd	Elefan	Multifan
L_{∞}	95	95	95	96
K	0,12	0,12	0,22	0,11

Ces résultats sont dans l'ensemble très proches les uns des autres, à l'exception de l'estimation du paramètre K de la méthode ELEFAN qui est, par comparaison, franchement surévaluée. La méthode de SHEPERD est moins arbitraire car elle évite les problèmes liés au choix des procédures préliminaires de lissage, et utilise l'intégralité de l'information contenue dans les histogrammes, et non les seuls modes. Nous ne retiendrons donc pas les résultats de la méthode ELEFAN.

L'équation de croissance adoptée est donc la suivante :

$$L_t = 95 \cdot (1 - e^{-0,12(t-t_0)})$$

Cette estimation finale doit être prise comme un ordre de grandeur qui demande à être validé par une étude de croissance à partir de lecture de pièces squelettiques. En effet, dans le cas du vivaneau rouge, le chevauchement des tailles des différentes cohortes est trop important pour que les méthodes d'analyse modale apportent des résultats convaincants.

Sur un plan général et pratique, lorsque les composantes sont bien visibles sur les distributions globales, les différentes méthodes d'analyse donnent des résultats identiques, même si certaines ont des bases mathématiques plus solides que d'autres. L'intérêt des utilisateurs pour telle ou telle méthode repose plus sur les qualités informatiques des programmes (facilité d'emploi, convivialité,...) que sur des critères rigoureux de procédures mathématiques. Le programme MULTIFAN, quand à lui, a l'avantage d'être à la fois performant tant sur le plan conceptuel qu'ergonomique.

V-1.3.5. Comparaison des résultats avec ceux trouvés dans la littérature

Les résultats des études de croissance du vivaneau rouge, réalisées par lectures d'anneaux de croissance de pièces dures (écailles, otolithes, os crâniens) sont récapitulés dans le tableau 14 ci-dessous :

Auteurs	paramètres		
	K	L_{∞}	T_0
Nord-est BRESIL			
Lima (1965)	0,117	97,67	
Menezes et Geistera (1974)	0,09	98,86	
Ximenes et Fonteles-Filho (1988)	0,103	92,9	- 2,8
Est VENEZUELA			
Gonzales (1990)	0,15	108,76	- 1,43

Tab.14 : Estimation des paramètres de croissance du vivaneau rouge .
Les tailles correspondent à des longueurs totales (en cm).

Ainsi les valeurs que nous avons trouvées sont proches et légèrement supérieures à celles des auteurs brésiliens, et par contre légèrement inférieures à celles trouvées par Gonzales au Vénézuéla.

Par ailleurs, Manooch (1987) a établi une relation entre les paramètres K (en année⁻¹) d'une part et L_{∞} (en mm) d'autre part des différentes espèces de vivaneaux et de mérus (Fig. 34). Il a obtenu l'équation suivante :

$$\log_{10} K = 1,098 - 0,658 \cdot \log_{10} L_{\infty}$$

$$r^2 = 0,57$$

Cette équation donne pour une valeur de L_{∞} de 95 cm (longueur à la fourche, soit 105 cm de longueur totale) une estimation de K égale à 0,13, qui est proche de notre propre estimation.

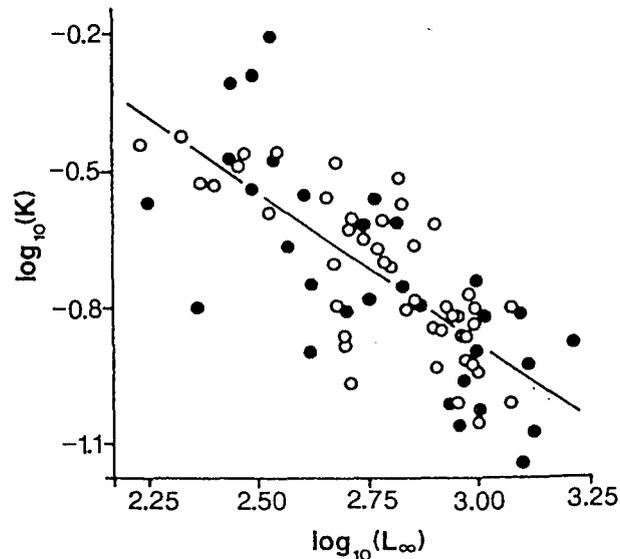


Fig.34 : Relation entre les paramètres de croissance K (en année⁻¹) et L_{∞} (en mm), d'après Manooch (1987). Les symboles blancs représentent les espèces de vivaneaux et les noirs les espèces de mérours.

V-1.4. Conclusion :

Au cours de cette étude on a trouvé les résultats finaux suivants :

- la sex-ratio dans les captures est de 50 %.
- la longueur de première maturité sexuelle L_{50} des individus femelles est égale à 32 cm ($L_{75} - L_{25} = 6$ cm). Pour la suite de l'analyse on supposera que la première maturité sexuelle des individus mâles est égale à celle des individus femelles.
- Les paramètres de croissance $K = 0,12 \text{ an}^{-1}$ et $L_{\infty} = 95$ cm s'appliquent à un stock composé d'individus mâles et femelles.

Les prévisions de capture se rapporteront donc à un stock mélangé dont la sex-ratio est de 50 %. Le coefficient de mortalité naturelle sera fixé arbitrairement à $0,2 \text{ an}^{-1}$ et la relation taille/poids utilisée sera celle donnée par Tous (1988).

V-2.1. Evolution de la distribution en taille des captures annuelles entre 1986 et 1991

L'échantillonnage au débarquement des captures débute en 1986. Le nombre d'individus mesurés par an est le suivant (Tab.15) :

Année	Nombre d'individus mesurés
1986	4089
(1987)	1949)
1988	11825
1989	5664
1990	8589
1991	10731

Tab. 15 : Effectifs de l'échantillon des tailles des captures annuelles.

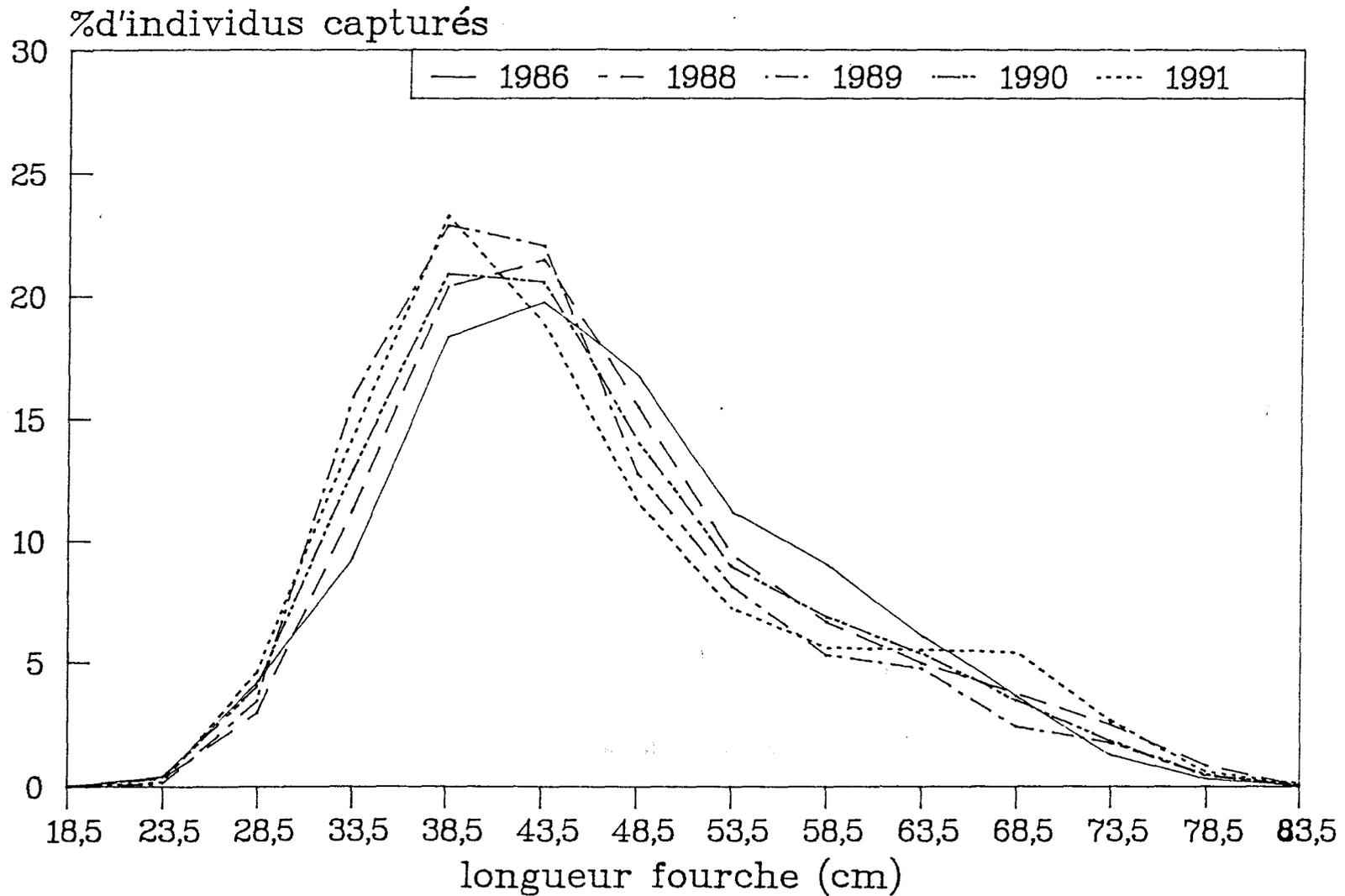
En 1987, le nombre d'individus mesurés est 2 à 5 fois plus faible que durant les autres années. Les poissons débarqués cette année là n'ont pas été échantillonnés pendant 6 mois de l'année. L'échantillon n'est donc pas représentatif de la population capturée et nous n'en tiendrons pas compte.

Les résultats sont présentés sur la figure 35 et l'annexe 5. Entre 1986 et 1991 le nombre d'individus capturés a augmenté en même temps que l'effort de pêche comme nous l'avons vu au chapitre précédent. Pendant cette même période, la moyenne et la dispersion des tailles se sont amenuisées comme le montre le tableau 16.

Année	Moyenne (cm)	Ecart-type (cm)
1986	46,33	10,43
1988	45,99	10,85
1989	44,22	10,28
1990	43,61	19,58
1991	45,27	11,61

Tab. 16 : moyennes et écarts-type des distributions annuelles des tailles capturées.

Fig.35 : Evolution des fréquences en taille des captures annuelles de vivaneau rouge, entre 1986 et 1991.



De 1986 à 1990, la moyenne et l'écart-type baissent respectivement de 5,87 % et 8,14 %. Un mode secondaire situé à 68,5 cm sur la distribution de l'année 1991 correspond à des individus capturés hors de la ZEE guyanaise sur un stock peu exploité. Moyenne et écart-type de la distribution de l'année 1991 sont par conséquent surévalués.

L'homogénéité de l'ensemble des 5 distributions annuelles a été testée par un test de χ^2 à $(5-1) \cdot (14-1) = 52$ degrés de liberté. (les 5 distributions en taille sont composées de 14 classes de taille de 5 cm d'intervalle.). La valeur du χ^2 trouvée est de 87 583, bien supérieure à la valeur donnée par la table (59,7) au seuil 0,1 %. On peut donc affirmer que les modifications constatées dans les compositions en taille des captures entre 1986 et 1991 sont hautement significatives..

V-2.2. Analyse de Population Virtuelle (APV) sur les longueurs

L'utilisation de cette technique, exposée au chapitre III, va nous permettre d'estimer, à partir d'une distribution en longueur d'une capture annuelle de vivaneaux rouges et en faisant l'hypothèse que ce stock est en équilibre, les effectifs survivants et les coefficients de mortalité par classes de taille dans le stock.

La distribution moyenne des captures des années 1989-1991 a été choisie comme distribution de fréquences de longueur. Le coefficient de mortalité naturelle a été fixé à 0,2. Les calculs ont été menés par rétrocalcul et initialisés en fixant une valeur au coefficient de mortalité F' de la classe de longueur terminale $L(I')$. Les résultats de calcul sont présentés en annexe 6.

V-2.2.1. Choix du coefficient F' de la classe terminale $L(I')$

Sous les hypothèses d'un recrutement et d'un effort de pêche constants sur une durée passée égale à celle de la phase exploitée, on peut diviser cette dernière en quatre parties qui sont (Fig.36) :

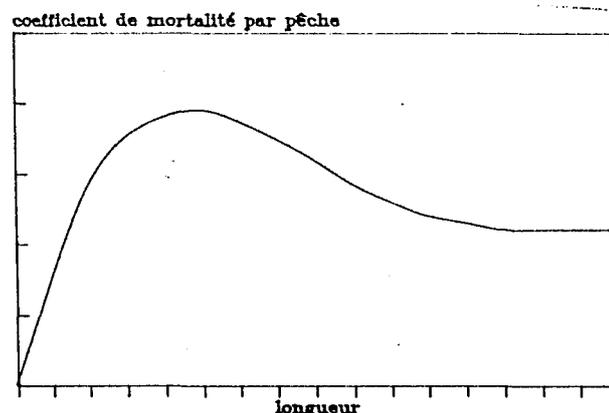


Fig. 36 : Séparation en 4 parties de la phase exploitée de l'animal en

- une phase 1 de croissance de la mortalité due à l'augmentation de la sélectivité de l'engin et/ou de la fraction recrutée de la cohorte.
- une phase 2 de mortalité maximale.
- une phase 3 de décroissance de la mortalité due à la diminution de la sélectivité de l'engin et/ou de la présence des individus sur les lieux de pêche.
- une phase 4 de mortalité constante jusqu'à la dernière classe de longueur.

Le coefficient F^* est choisi en respectant cette dernière condition : si F^* est surestimé, la mortalité pendant la phase 4 croît ; au contraire, si F^* est sous-estimé, elle décroît.

Ainsi, sur la figure 37, on voit que la partie ascendante de la fonction $F(i)$ se situe entre 22 et 41 cm. Vient ensuite, à 41 cm, la longueur de pleine capturabilité. Entre 42 et 60 cm la fonction $F(i)$ diminue progressivement. L'augmentation de $f(i)$ dans la dernière phase exploitée de la vie de l'animal, entre 60 et 68 cm, s'explique par la capture d'individus provenant hors de la ZEE guyanaise, sur un stock peu exploité.

La plage des valeurs possibles du coefficient F^* va de 0,1 à 0,5 an^{-1} . La valeur recherchée est déterminée graphiquement : elle est choisie égale à 0,3 an^{-1} .

Il est possible que la capturabilité diminue avec la longueur chez les poissons les plus âgés. La phase 4 serait alors décroissante et la valeur de F^* retenue surestimée. Cette valeur de 0,3 an^{-1} doit donc être considérée comme une limite supérieure des valeurs plausibles.

$M=0,2$; $K=0,12$; $L=94,7$; distribution moyenne 89-91

Coefficient F de mortalité par pêche

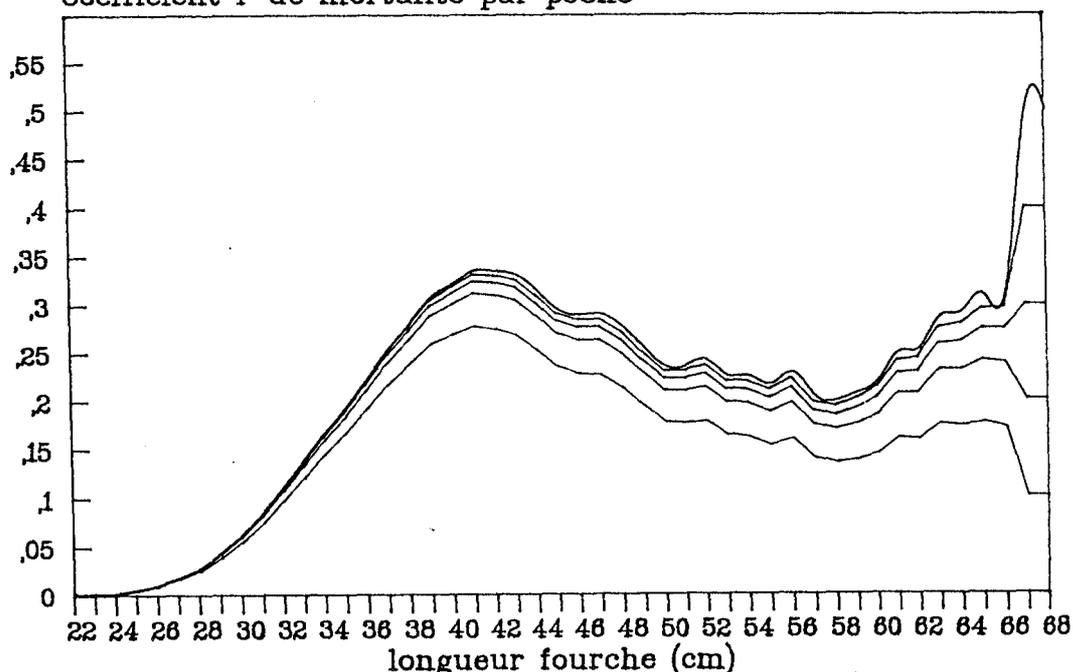


Fig. 37 : Choix de la valeur du coefficient de mortalité par pêche de la dernière classe de taille et estimation des autres coefficients de mortalité par pêche.

V-2.2.2. Estimation des coefficients de mortalité par pêche (fig. 37)

A la taille de pleine capturabilité, égale à 41 cm, le coefficient F atteint $0,32 \text{ an}^{-1}$. Entre 42 et 60 cm ce coefficient passe de $0,32$ à $0,20 \text{ an}^{-1}$ avec une valeur moyenne de $0,24$. Au delà de 60 cm, il remonte avec une valeur moyenne égale à $0,26 \text{ an}^{-1}$.

V-2.2.3. Estimation du recrutement

Avec la valeur précédente du paramètre $F' = 0,3 \text{ an}^{-1}$, le nombre de recrues appartenant à la classe 22 cm est estimé à 1,7 millions d'individus.

V-2.3. Sensibilité des mortalités par pêche

Les coefficients A de sensibilité d'ordre 1 définis au chapitre III sont calculés vis-à-vis des paramètres L_∞ , K , M et F' . Ils varient en fonction de la taille des individus et de la valeur de ces paramètres.

La figure 38 montre la prépondérance, quelle que soit la longueur, des coefficients de sensibilité liés aux paramètres de croissance. Par exemple, à 41 cm, ces coefficients valent : $A(L_\infty) = 3,2$; $A(K) = 1,6$; $A(M) = -0,6$; $A(F') = 0,3$.

La sensibilité de la fonction F vis-à-vis du paramètre M est négative : à 41 cm, une augmentation de M de 1 % entraîne une diminution de F de 0,6 %. Le coefficient $A(M)$ est proche de 0 à la taille L_∞ et augmente de valeur quand les tailles diminuent pour atteindre $-0,90$ à 20 cm. Au contraire le coefficient de sensibilité $A(F')$ s'atténue quand la longueur diminue. C'est une conséquence de la propriété de convergence de la méthode d'APV. La valeur positive de $A(F')$ signifierait que la valeur de F' choisie arbitrairement serait surestimée.

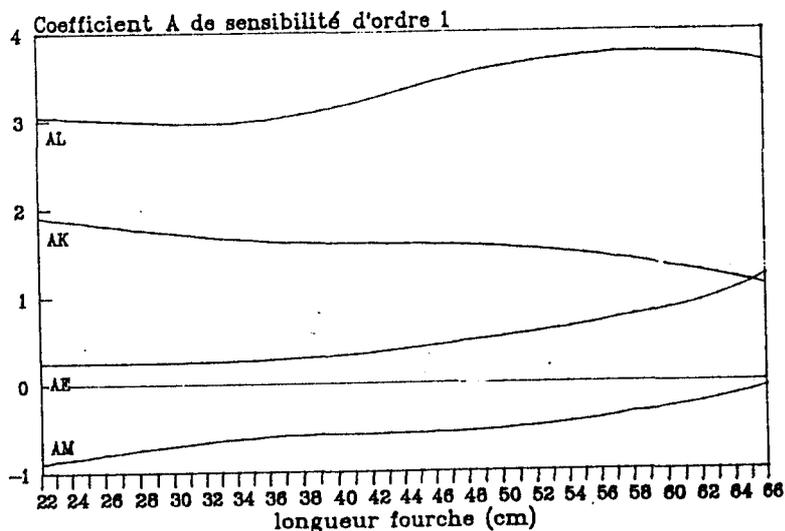


Fig. 38 : Coefficients de sensibilité des mortalités par pêche.

V-2.4. Variations des mortalités $F(i)$ en réponse aux écarts des paramètres M et F^+

M et F^+ prennent des valeurs hypothétiques (0,20 et 0,30 respectivement). Leurs lois de distribution statistique sont inconnues. On peut néanmoins, en l'absence d'estimation des variances et biais, étudier le comportement numérique d'une approximation par un développement limité de la fonction F en faisant varier les valeurs de ces paramètres (Fig.39 et 40).

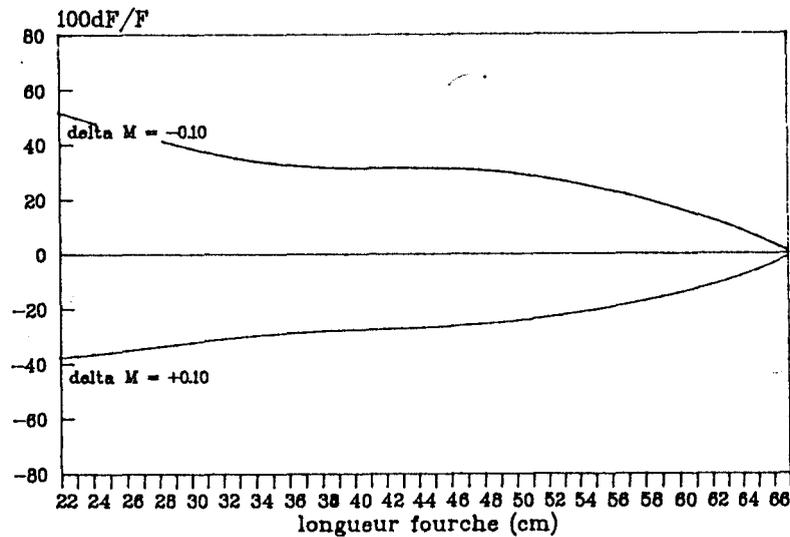


Fig. 39 : Variations des mortalités en réponse aux écarts du paramètre M .

La sensibilité de la fonction F au paramètre M est négligeable dans les classes de longueur proche de $L(I^+)$, et augmente quand les tailles diminuent. A 41 cm, longueur de pleine capturabilité, une augmentation de M de 50 % entraîne une diminution de F de 27 %. Une diminution de M de 50 % entraîne une augmentation de F de 31 %. Les mortalités F sont donc plus sensibles aux faibles valeurs qu'aux fortes valeurs de M .

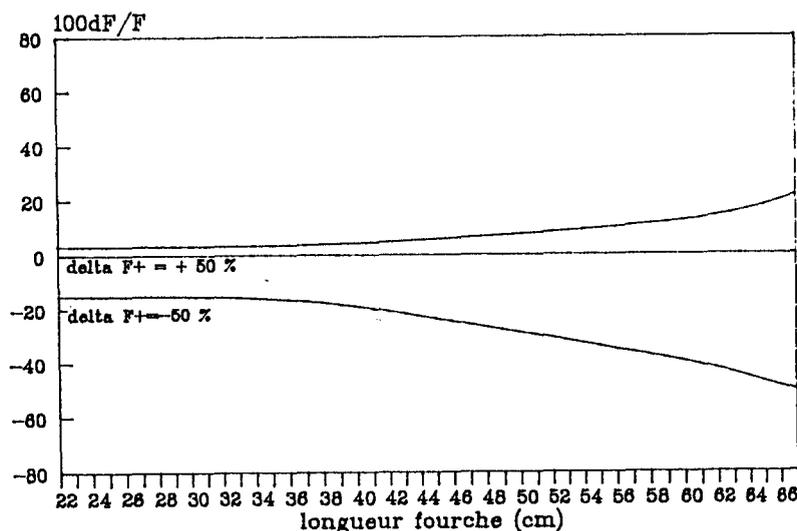


Fig.40 : Variations des mortalités en réponse aux écarts du paramètre F^+ .

L'influence de F^+ baisse quand les classes de longueur diminuent. A 41 cm une augmentation de F^+ de 50 % entraîne une augmentation de F de 5 %. Une diminution de F^+ de 50 % entraîne une perte de F , toujours à 41 cm, de 20 %. La sensibilité de F diminue donc quand la valeur de F^+ augmente.

En résumé les résultats numériques précédents peuvent se résumer comme suit (Tab.17) :

Classes de taille	petites classes	grandes classes
paramètre M	+	-
paramètre F^+	-	+
variations des paramètres	faibles valeurs	fortes valeurs
paramètre M	+	-
paramètre F^+	+	-

Tab. 17 : variations de sensibilité du vecteur F en fonction de la taille et de la valeur des paramètres M et F^+ .

V-2.5 Intervalles de confiance sur les mortalités par pêche à partir des matrices de covariances des captures et des paramètres de croissance

Pour mener les calculs, on a supposé que l'échantillon mesuré représentait un EAS de taille $n= 8328$ poissons (moyenne annuelle du nombre d'individus au cours des années 89 à 91), que le nombre total de poissons débarqués était connu exactement, et que la distribution des individus dans les classes de longueur suivait une loi multinomiale. On a supposé également que la distribution des estimateurs de Von Bertalanffy était représentée par une loi binormale avec les valeurs suivantes :

$K = 0,12 \text{ an}^{-1}$ écart-type = 0,03
 $L_{\infty} = 0,95 \text{ cm}$ écart-type = 10
 Coefficient de corrélation $(K, L_{\infty}) = -0,95$

Les résultats sont présentés dans la figure 41 :

- incertitude sur la distribution en longueur des captures : le coefficient de variation est de 5,6 % pour une longueur de 67 cm et de 3,0 % pour une longueur de 41 cm.

- variabilité individuelle de croissance : le coefficient de variation varie de 22 % pour une longueur de 67 cm à 12 % pour une longueur de 41 cm et à 10 % pour une longueur de 22 cm.

On retiendra que l'intervalle de confiance provenant de l'incertitude de la distribution en longueur des captures est faible comparée à l'incertitude due à la variabilité individuelle de croissance. Les paramètres de croissance, K et L_{∞} sont bien les principaux facteurs qui contrôlent la précision de la fonction de mortalité par pêche.

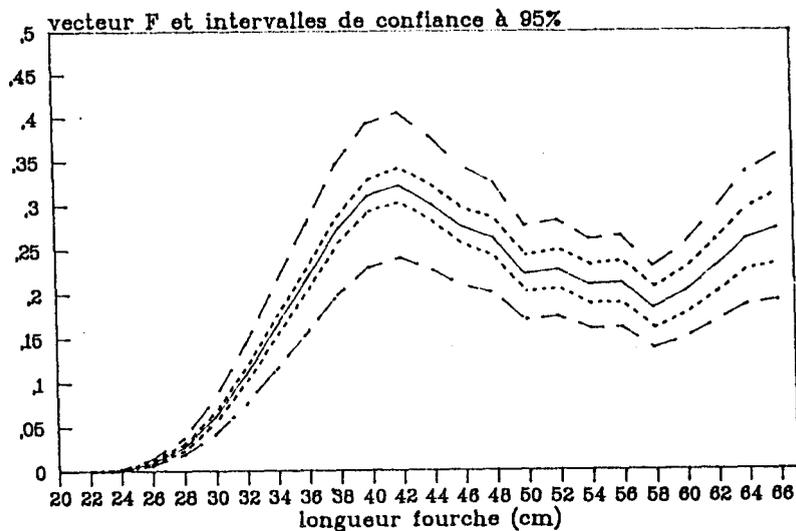


Fig.41 : Estimations du coefficient de mortalité par pêche (trait plein) et intervalles de confiance à 95 % provenant de l'incertitude de la distribution en longueur des captures (en pointillé), et de l'incertitude due à la variabilité individuelle de croissance (en tirets).

V-3. ESTIMATION DU RENDEMENT PAR RECRUE EN FONCTION DU TAUX DE MORTALITE PAR PECHE.

V-3.1. Prévisions en terme de rendement, de PUE relative et de biomasse féconde par recrue

Comme dans l'APV, les calculs sont menés à l'aide du logiciel ANALEN (Chevaillier et Laurec, 1990).

De façon à atténuer les fluctuations du recrutement et du régime d'exploitation, l'analyse porte sur la distribution moyenne des captures annuelles, de 1989 à 1991. L'utilisation de l'APV nous a permis d'estimer les effectifs survivants et les coefficients de mortalité par classes de tailles. Le recrutement a lieu à la longueur $L_1 = 22$ cm. Il a été estimé au chapitre précédent à 1,7 millions d'individus.

La relation taille-poids utilisée pour le vivaneau rouge est donnée par Tous (1988) :

$$w_{(g)} = a \cdot L^b \text{ (cm) } \quad (\text{poids éviscéré})$$

avec $a = 0,0195$ et $b = 2,91$

La longueur de première maturité sexuelle à 50 % est estimée à 32 cm et l'écart entre les longueurs de maturité à 25 % et 75 % est de 6 cm.

Les résultats des calculs sont présentés dans la figure 42 et en annexe 7. Le diagramme d'exploitation de référence correspond au niveau actuel. La production est estimée pour le régime actuel à 636,2 grammes par recrue, c'est-à-dire que pour un poisson recruté on obtiendra en moyenne une capture de 636,2 g de poids éviscéré dans le régime d'exploitation actuel. La courbe de rendement par recrue passe par un maximum de 636,4 g/R obtenu pour un multiplicateur du diagramme d'exploitation actuel de 1,01. Ensuite, le rendement diminue progressivement pour atteindre une valeur égale à 550 g pour un multiplicateur du diagramme d'exploitation de 3.

Toute augmentation de l'effort entraîne naturellement une diminution de la PUE dont l'importance dépend du niveau d'exploitation du stock. Par exemple un doublement du multiplicateur du diagramme d'exploitation provoquerait une baisse de 47 % de la PUE.

Enfin, la valeur de la biomasse féconde du stock vierge est estimée à 9,2 kg/R. Son niveau actuel en représente 26 %.

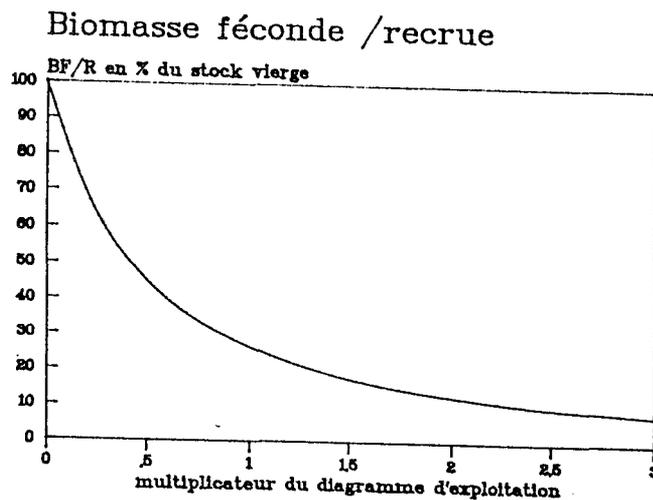
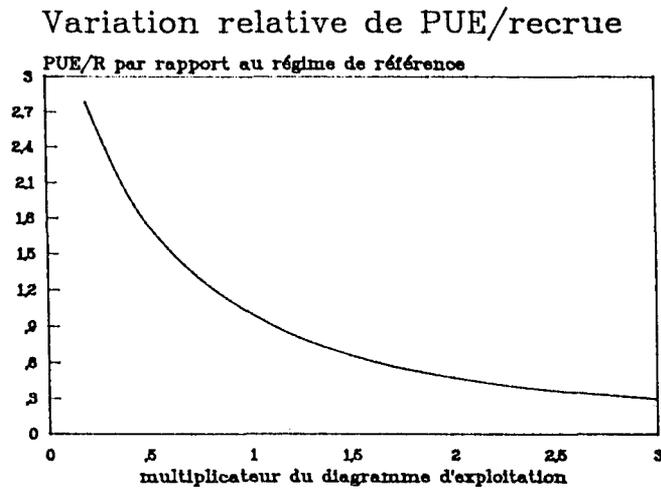
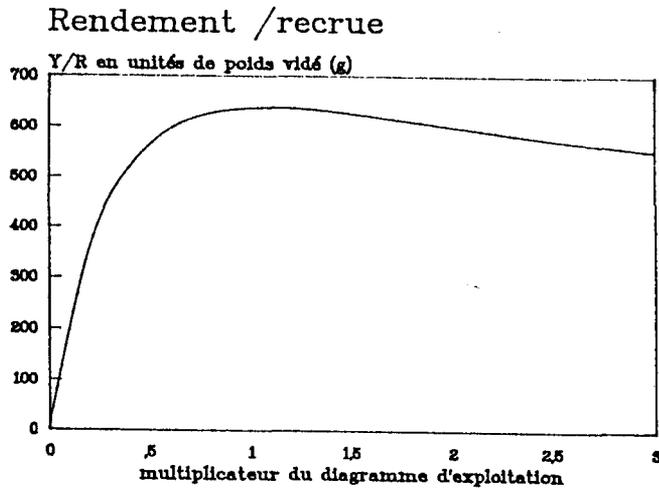


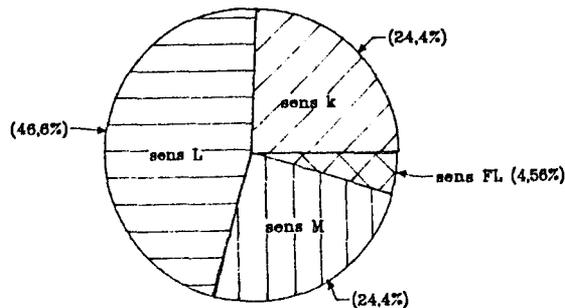
Fig. 42 : Variation du rendement, de la PUE relative, et de la biomasse féconde par recrue en fonction du multiplificateur du diagramme d'exploitation.

V-3.2 Sensibilité de la fonction de rendement par recrue

(Fig. 43)

Les coefficients de sensibilité dépendent du multiplicateur du diagramme d'exploitation. Avec un multiplicateur égal à 1, les coefficients de sensibilité A exprimés en % de la sensibilité totale de la fonction de rendement par recrue (Pelletier, 1990) valent : $A(L) = 46,6\%$; $A(K) = 24,4\%$; $A(M) = 24,4\%$ et $A(F') = 4,6\%$. La fonction Y/R est donc surtout sensible à l'incertitude sur les paramètres de croissance.

La sensibilité aux conditions initiales diminue lorsque l'effort de pêche augmente. Ainsi en doublant l'effort de pêche, les coefficients $A(L)$, $A(K)$, $A(M)$, $A(F')$ diminuent respectivement de 45 %, 36 %, 36 % et 118 %.



coefficients de sensibilité exprimés en %
de la sensibilité totale (multiplicateur
du diagramme d'exploitation = 1)

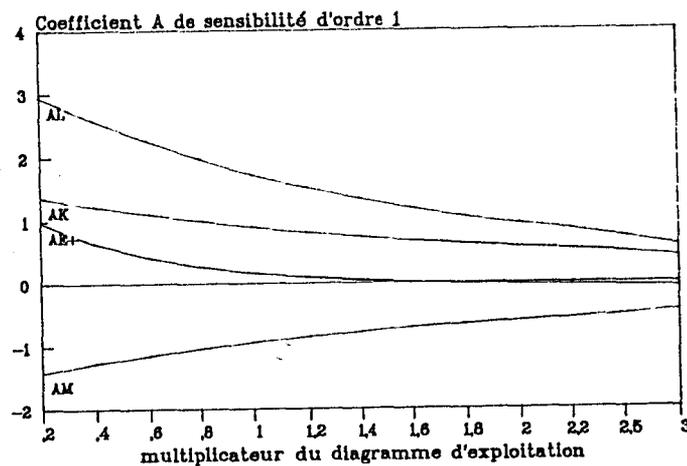


Fig. 43 : Estimations des coefficients de sensibilité de la fonction de rendement par recrue (en haut) et de leur variation en fonction de la valeur du multiplicateur du diagramme d'exploitation (en bas).

V-3.3. Variations de la fonction de gain-perte en réponse aux écarts des paramètres M et F ± (Fig. 44)

Une fonction φ de gain-perte est définie par :

$$\varphi(\mu = x) = 100 \cdot \left[\frac{Y(\mu = x)}{Y(\mu = 1)} - 1 \right]$$

Elle signifie un gain ou perte de rendement par recrue Y provoqué par un changement du multiplicateur μ du diagramme d'exploitation, et équivaut à un changement d'échelle et d'ordonnée de la fonction de rendement par recrue.

Les paramètres M et F ± prennent des valeurs conjecturales qui ne sont pas quantifiables statistiquement. On peut néanmoins étudier le comportement numérique de la fonction φ en réponse à des variations de ces paramètres.

Pour un multiplicateur de l'effort de 1,01, une variation de l'effort de M de -50 % et +50 % entraînent une variation respective de la fonction φ de -80 % et +61 %. La fonction φ est donc plus sensible aux faibles qu'aux fortes valeurs de M.

L'influence du paramètre F ± est plus modérée. Une variation de F ± de +50 % et -50 % entraînent une variation de φ de -59 % et 76 %. La fonction φ est donc plus sensible aux faibles qu'aux fortes valeurs de F ±.

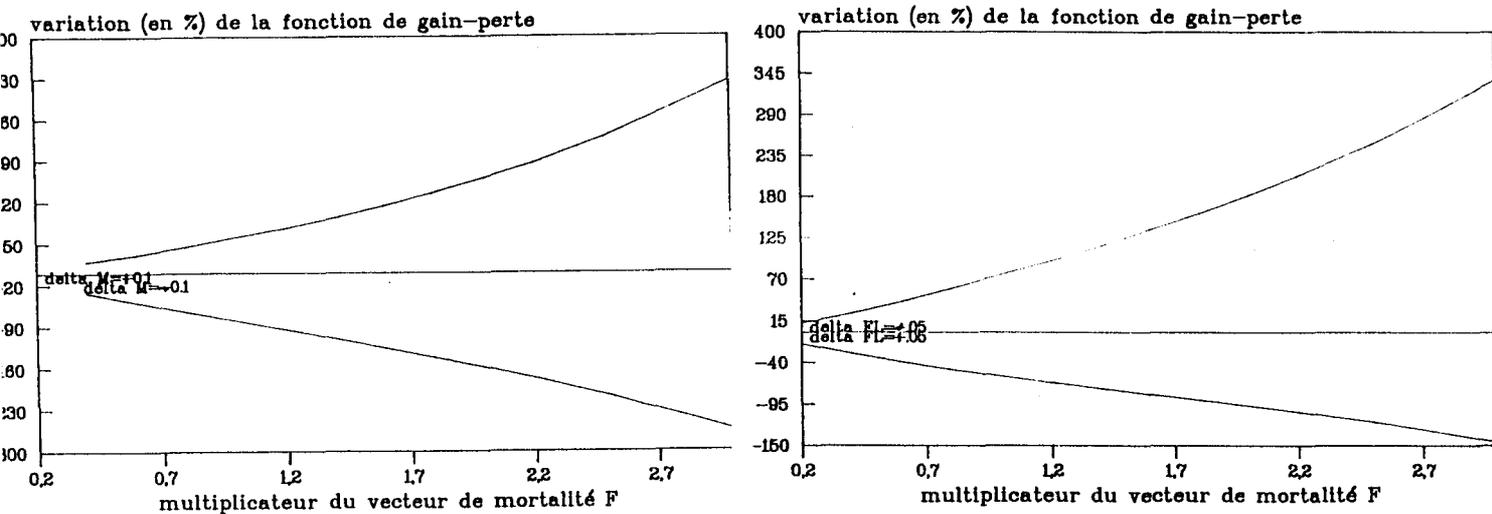


Fig.44 : Variation de la fonction de gain-perte en réponse aux écarts des paramètres M et F±.

V-3.4. Intervalles de confiance de la fonction de gain-perte à partir des matrices de covariance des captures et des paramètres de croissance (Fig.45)

On voit sur la figure 45 que l'incertitude de la fonction φ provenant des erreurs d'échantillonnage des captures est négligeable comparée à celle provenant de la variation des paramètres de croissance. Ainsi le coefficient de variation lié aux paramètres de croissance est estimé à 12 % pour un multiplicateur du diagramme d'exploitation de 0,4 et à 141 % pour un multiplicateur du diagramme d'exploitation de 1,4. Par comparaison, le coefficient de variation lié à l'incertitude de la distribution en longueur des captures est de 2 % pour un multiplicateur du diagramme d'exploitation de 0,4, et de 21 % pour un multiplicateur de 1,4.

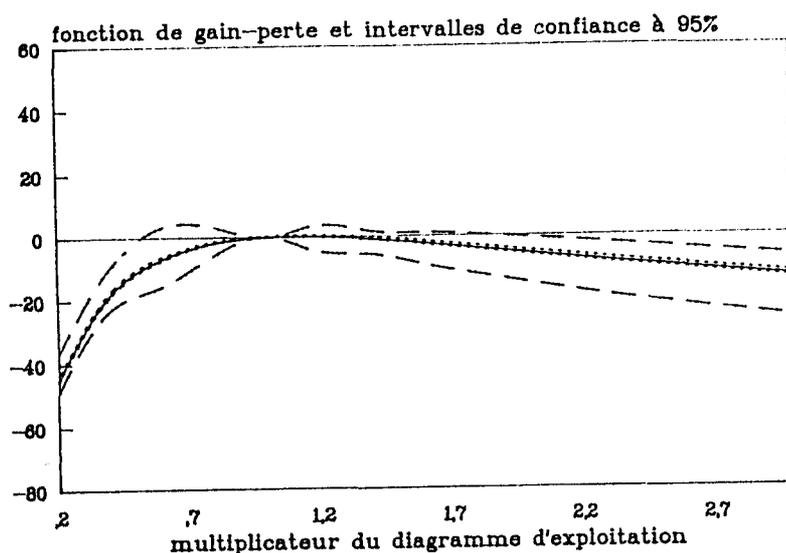


Fig.45 : Fonction de gain-perte (trait plein) et intervalles de confiance à 95 % provenant de l'incertitude de la distribution en longueur des captures (en pointillé), et de l'incertitude due à la variabilité individuelle de croissance (en tirets).

V-3.5. Influence de la sélectivité des hameçons

Le rendement par recrue dépend d'une deuxième variable liée à l'activité de pêche, la longueur d'entrée dans les captures elle-même liée à la taille des hameçons utilisés. Des isoplètes ou courbes d'isorendement peuvent se calculer en faisant varier simultanément le régime d'exploitation et la taille d'entrée dans les captures.

Mais l'équation de la sélectivité des hameçons est mal définie et aucune étude ne l'a clairement établie à ce jour. La sélectivité des chaluts et celle des filets sont décrites respectivement par une équation logistique et par une équation Gaussienne. Ralston (1990) a réalisé récemment des expériences dans le but d'évaluer l'efficacité de ces fonctions dans la représentation de la sélectivité des hameçons. Ses résultats montrent qu'aucune de ces deux fonctions ne convient, bien que le modèle logistique s'en approcherait le plus, et que la courbe de sélectivité varie d'une taille d'hameçon à une autre. Tandis que les petits hameçons capturent nettement plus de petits poissons, les gros hameçons sont plus efficaces vis-à-vis des individus de grandes tailles.

Sur un plan pratique, la longueur L_{100} de première maturité sexuelle (38cm) est proche de la longueur de pleine capturabilité (41cm) et donc, avec la taille des hameçons utilisés par les pêcheurs, le stock est à l'abri d'une surexploitation d'animaux juvéniles. C'est pourquoi la régulation de l'activité de pêche par la modification de la taille des hameçons ne semble pas opportune dans l'immédiat.

V-4. CONCLUSION PROVISOIRE : UN STOCK AYANT DEPASSE SA PRODUCTION MAXIMALE

Le but principal de ce chapitre est, rappelons-le, de combiner les paramètres de croissance et de mortalité de façon à prévoir l'évolution de la biomasse et de la production du stock lorsque varie le taux d'exploitation. Les calculs sont menés en modifiant le multiplicateur du diagramme d'exploitation. Le modèle utilisé est le modèle de Thompson et Bell, dans lequel les captures pondérales s'obtiennent en multipliant, dans chaque intervalle de taille, les captures en nombre par les poids moyens correspondants.

Auparavant il a fallu acquérir les paramètres biologiques suivants :

- la sex-ratio dans les captures qui est de 50 %.
- la première maturité sexuelle qui est atteinte à la longueur $L_{50} = 32$ cm (50 % d'individus matures) et $L_{100} = 38$ cm (100 % d'individus matures).
- les paramètres de croissance de l'équation de Von Bertalanffy : $K = 0,12$ an⁻¹ et $L_{\infty} = 95$ cm.

Ensuite il a fallu estimer les coefficients de mortalité par pêche et l'abondance des effectifs de survivants dans le stock par la méthode d'APV sur les tailles. Les calculs ont été menés à partir de la distribution en longueur moyenne sur les trois années 1989-1991. Les résultats obtenus sont les suivants : la taille d'entrée dans les captures est de 22 cm. L'abondance des effectifs recrutés à 22 cm est estimée à 1,7 millions d'individus. Le coefficient de mortalité croît entre 22 et 41 cm jusqu'à atteindre la valeur de 0,32 an⁻¹. Ensuite il décroît jusqu'à la taille de 60 cm, et passe de 0,32 à 0,20 an⁻¹ avec une valeur moyenne de 0,24. Au delà de 60 cm il prend une valeur moyenne égale à 0,26 an⁻¹.

Tous ces paramètres ont été utilisés comme variables d'entrée du modèle de Thompson et Bell. Les principaux résultats de la dynamique du stock sont les suivants : avec l'effort de pêche actuel, le stock aurait atteint son niveau maximum d'exploitation et toute augmentation de l'effort entraînerait à l'équilibre une diminution de la production. Par exemple un doublement du multiplicateur du diagramme d'exploitation provoquerait une baisse de la production de 5,8 %. Toute augmentation de l'effort entraînerait également une diminution de la PUE : un doublement de l'effort provoquerait une baisse de la PUE de 47 %. La valeur de la biomasse féconde est estimée à 26 % de celle du stock vierge. Cette valeur passerait à 12,6 % en doublant l'effort de pêche. La longueur $L_{100} = 38$ cm de première maturité sexuelle est proche de la longueur de pleine capturabilité (41 cm), si bien que la majeure partie des prises est constituée d'animaux adultes. L'augmentation de la taille des hameçons n'augmenterait pas le volume du stock

d'animaux immatures échappant à la pêche. C'est pourquoi la régulation de l'activité de pêche par la modification de la taille des hameçons ne semble pas opportune aujourd'hui.

La sensibilité du modèle aux conditions initiales a été analysée. La fonction de rendement par recrue est surtout sensible aux paramètres de croissance L_{∞} et K . Les coefficients de sensibilité exprimés en proportion de la sensibilité totale de la fonction valent respectivement 64,7% et 19,3% pour le niveau d'exploitation actuel. Le paramètre M joue également un rôle important. Son coefficient de sensibilité est estimé à 19%. L'influence du paramètre F' qui est le coefficient de mortalité par pêche de la classe de taille terminale $L(l')$ et dont l'estimation est plus ou moins arbitraire, est modérée. Le coefficient de sensibilité est estimé à 6%.

Lorsqu'on compare les coefficients de sensibilité de la fonction de rendement par recrue à ceux de la fonction de mortalité, il en ressort une diminution du rôle des paramètres de croissance, une amplification du rôle de la mortalité naturelle M et un amortissement du rôle de F' et de l'erreur d'estimation de la distribution en taille des effectifs capturés.

Les résultats du modèle structural dépendent donc principalement des paramètres de croissance. Ces derniers ont été estimés selon une méthode commode et provisoirement acceptable compte tenu des difficultés rencontrées dans la lecture des pièces squelettiques. Les conclusions sur les potentialités d'exploitation du stock seraient donc susceptibles d'évoluer si une étude approfondie de la croissance était entreprise.

La méthode d'APV sur les tailles utilise les paramètres de croissance pour transformer les classes de taille en classes d'âge. Cette transformation suppose que la variabilité individuelle de croissance est négligeable. Dans le cas du vivaneau rouge dont la longévité est de dix ans, cette condition n'est satisfaite que dans les trois premières classes d'âge, mais non au delà. Cette méthode doit donc être considérée ici comme un pis-aller, un simple moyen à quoi on a recours faute de mieux.

D'autre part, les hypothèses d'équilibre supposent que le recrutement et le vecteur des coefficients de mortalité par pêche sont constants durant un passé égal à celui de la phase exploitée. Cette condition est respectée tant que les variations de ces facteurs sont aléatoires. L'état du stock oscille de part et d'autre de la position d'équilibre. Si, en revanche, une tendance se manifeste, les estimations des effectifs et des mortalités sont biaisées. Dans le cas du vivaneau rouge, nous sommes dans l'impossibilité de savoir si une tendance s'est manifestée dans le recrutement au cours de ces dernières années. La dizaine de classes d'âge qui constitue le stock et l'âge tardif d'entrée dans les captures font que les fluctuations numériques du recrutement sont amorties. Par contre, au cours

de la même période, la croissante de l'effort de pêche place, aujourd'hui, le stock dans un état de non équilibre dont nous allons voir quelles en sont les conséquences dans les estimations des effectifs et des mortalités.

Considérons une cohorte d'effectif R au recrutement, et dont la capturabilité vis-à-vis d'un engin de pêche est constante et égale à q . Si elle est soumise à un effort de pêche constant, f , son effectif N au début de l'année y ($i = 1, \dots, l$) sera égal à :

$$N_y = R \cdot (e^{-(q \cdot y \cdot f + y \cdot M)})$$

Si maintenant elle est soumise à un effort de pêche croissant pour atteindre une valeur égale à f_y l'année y , son effectif N' sera égal à :

$$N'_y = R \cdot \left(e^{-\left(q \cdot \sum_{i=1}^y f_i + y \cdot M \right)} \right)$$

$$\text{Comme } \sum_{i=1}^y f_i < y \cdot f \quad \Rightarrow \quad N'_y > N_y$$

Ainsi peut-on déduire que, lorsque l'effort de pêche augmente, l'effectif d'une cohorte est surestimé par rapport à l'effectif de la même cohorte en équilibre avec l'effort de pêche courant. **La mortalité est, par contre, sous-estimée.**

Deux observations suggèrent, en effet, que le stock serait plus fortement exploité que ne le montre l'analyse :

- le report au cours de l'année 1991 d'une partie de l'effort de pêche sur un stock voisin de la ZEE guyanaise, à cause d'une raréfaction locale des vivaneaux rouges constatée par les pêcheurs ;
- le report d'une partie de l'effort de pêche sur une espèce secondaire de lutjanidés, le vivaneau ti-yeux (Rhomboplites Aurorubens), vivant au même endroit que le vivaneau rouge.

En définitive le stock, en situation de non équilibre, a dépassé son niveau de production maximale, ce qui signifie qu'avec le niveau d'effort de pêche actuel la production de vivaneau rouge devrait diminuer plus ou moins fortement dans les prochaines années.

Cette notion d'équilibre doit donc être regardée comme une situation exceptionnellement simple vers laquelle tend le stock - de manière asymptotique - et qui permet de faire des extrapolations et des prévisions.

VI- PERSPECTIVES D'EXPLOITATION DES STOCKS DE
LUTJANIDES DANS LA PECHE GUYANAISE

VI- PERSPECTIVES D' EXPLOITATION DES STOCKS DE LUTJANIDES DANS LA PECHE GUYANAISE

VI-1. COMPLEMENTARITE DES DEUX ANALYSES

VI-1.1. Présentation du problème et de sa solution

Dans la première partie de l'analyse nous avons étudié la relation entre l'effort de pêche f et la production Y . L'effort nominal f a été obtenu à l'aide des statistiques officielles complétées par des enquêtes auprès des pêcheurs. L'unité d'effort retenu a été le jour moyen de pêche par bateau. Puis, dans la deuxième partie nous avons étudié la relation entre le coefficient de mortalité par pêche F et la production par recrue Y/R . On rappelle que $F = C/N$ en supposant F constant dans un intervalle de temps donné où la capture et le nombre de poissons présents dans le stock sont respectivement égaux à C et N . La technique d'APV a fourni l'estimation de F et N à partir de l'estimation de la capture C .

La complémentarité de ces deux analyses passe par l'étude de la relation entre F et f . Pour appréhender cette relation plaçons-nous, comme le font Laurec et Le Guen (1981) dans le cas simplifié suivant : considérons une strate espace-temps homogène dans laquelle les vivaneaux comme les unités d'effort de pêche sont distribués de façon aléatoire. Alors la probabilité qu'a un poisson d'être capturé par une unité d'effort de pêche est noté q . La capture par f unités d'effort est donnée par :

$$C = q \cdot f \cdot N$$

En remplaçant C/N par F on obtient la relation fondamentale :

$$F = q \cdot f$$

dans laquelle q est l'inconnue recherchée.

Dans la réalité, par rapport à ce cas idéal, le coefficient de capturabilité q varie en fonction de plusieurs facteurs. Il dépend du bateau qui a fait la pêche, de la strate spatio-saisonnière où elle a eu lieu et de la classe de taille à laquelle appartient le poisson considéré. Le problème qui se pose donc est de mesurer cette variabilité dans toutes les dimensions de façon à dégager une variabilité d'ensemble, stable dans le temps, qui soit annuellement reproductible.

La solution retenue consiste à standardiser les variations de capturabilité : on calcule, pour chaque facteur, les capturabilités relatives des différentes modalités de ce facteur

par rapport à la capturabilité d'une modalité de référence. Ainsi a-t-on construit un nouveau stock théorique dans lequel le coefficient de capturabilité est égal à celui qu'aurait obtenu le bateau de référence s'il avait pêché dans la strate spatio-saisonnière de référence une unité de biomasse de taille identique à la taille de référence.

L'équation fondamentale s'applique donc aux modalités de référence et le facteur q est égal au rapport entre le coefficient de mortalité par pêche standard et l'effort de pêche standard. Ce facteur est donc un facteur de capturabilité standard. Les prévisions de capture seront faites dans des conditions standards. Auparavant il est nécessaire de définir de manière formelle ce que sont l'effort de pêche standard et la biomasse exploitée à laquelle est appliquée cet effort standard, le coefficient de capturabilité standard, et le coefficient de mortalité standard.

VI-1.2. Définition de l'effort de pêche standard

Les notations se rapportent au cas fréquemment rencontré d'une pêcherie composée de plusieurs métiers exploitant un stock particulier. Le pas de temps considéré est l'année. On s'intéresse à la composition en taille de la population, mais la généralisation à la composition en âge ne pose aucune difficulté.

Considérons un navire b appartenant à un métier v qui réalise au cours de l'année y , dans la strate spatio-saisonnière s , une capture en poids Y_{ysbiv} par classe de longueur i ($i=1, \dots, l$). L'effort de pêche s'applique simultanément à l'ensemble des classes de longueur. La PUE s'écrit :

$$U_{ysbv} = \frac{\sum_{i=1}^l Y_{ysbiv}}{f_{ysbv}}$$

Elle devient d'après le modèle multiplicatif vu au chapitre II-1 :

$$U_{ysbv} = D_{yv} \cdot P_{bv} \cdot Q_{sv} \cdot E_{ysbv}$$

P_{bv} et Q_{sv} sont les facteurs de capturabilité du bateau b ayant opéré dans la strate s relativement au bateau et à la strate de référence, pour le métier v . D_{yv} est équivalent à la PUE standard qu'aurait obtenu le bateau de référence du métier v s'il avait pêché dans la strate de référence au cours de l'année y .

La capture en poids de l'ensemble du métier v au cours de l'année Y est notée Y_{yv} . On définit l'effort standard annuel f_{yv}^* comme étant l'effort qu'aurait dépensé le navire de

référence du métier v pour obtenir la capture annuelle Y_{yv} s'il avait pêché dans la strate spatio-saisonnaire de référence. L'effort standard se calcule facilement :

$$(1) \quad f_{yv}^* = \frac{Y_{yv}}{D_{yv}}$$

VI-1.3. Définition de la Biomasse exploitée par le métier v

L'évolution du nombre de survivants étant décrite par une fonction exponentielle négative, le nombre d'individus décédés au cours de l'année y dans la classe de taille i est donné par :

$$(2) \quad N_{yi} \cdot (1 - e^{-Z_{yi}})$$

Z_{yi} étant le coefficient de mortalité total au milieu de la classe de taille L_i .

La fraction du coefficient de mortalité par pêche qui est attribuée à un métier v particulier est égale à la fraction de la capture totale revenant à ce métier (Mesnil, 1980). On a donc :

$$F_{yvi} = F_{yi} \cdot \frac{C_{yvi}}{C_{yi}}$$

La division du coefficient de mortalité partiel du métier v par le coefficient de mortalité total donne, parmi les individus décédés, la proportion des individus capturés par le métier v :

$$(3) \quad \frac{F_{yvi}}{Z_{yi}} = \frac{F_{yi}}{Z_{yi}} \cdot \frac{C_{yvi}}{C_{yi}}$$

Le produit des relations 2) et 3) donne le nombre de poissons capturés par le métier v pendant l'année y dans chaque classe de taille. En sommant ces produits sur l'ensemble des classes de taille, on obtient le nombre total de poissons capturés par le métier v au cours de l'année y :

$$C_{yv} = \sum_{i=1}^I N_{yi} \cdot (1 - e^{-Z_{yi}}) \cdot \frac{F_{yi} \cdot C_{yvi}}{Z_{yi} \cdot C_{yi}}$$

La biomasse capturée correspondante s'obtient en multipliant dans chaque classe de taille l'effectif capturé par le poids moyen des individus :

$$Y_{yv} = \sum_{l=1}^I N_{yl} \cdot (1 - e^{-Z_{yl}}) \cdot \frac{F_{yl} \cdot C_{yv l}}{Z_{yl} \cdot C_{yl}} \cdot W_{yl}$$

En divisant dans chaque classe de taille la biomasse capturée par son coefficient de mortalité par pêche, on obtient la biomasse exploitée par classe de taille. En sommant les résultats sur l'ensemble des classes de taille, on obtient la biomasse exploitée :

$$B_y = \sum_{l=1}^I \frac{N_{yl} \cdot (1 - e^{-Z_{yl}})}{Z_{yl}} \cdot W_{yl}$$

VI-1.4. Définition du coefficient de capturabilité standard

La biomasse totale exploitée au cours de l'année y est définie par :

$$(4) \quad B_y = \sum_{l=1}^I N_{yl} \cdot W_l$$

avec :

W_l : poids moyen d'un poisson au milieu de la classe de longueur i

N_{yl} : nombre d'individus présents dans le stock au milieu de la classe de longueur i

La PUE standard D_{yv} du métier v est une PUE pondérale globale qui s'applique à l'ensemble des classes de taille exploitées. Elle est donc proportionnelle à la somme des biomasses partielles des différentes classes de taille.

$$(5) \quad D_{yv} = \sum_{l=1}^I q_{vl} \cdot N_{yl} \cdot W_l$$

Pour revenir au cas idéal

où $D = q \cdot B$, on définit à partir des équation 4) et 5) un coefficient de capturabilité standard égal à (Laurec et Le Guen, 1981) :

$$(6) \quad q_v^* = \frac{\sum_{l=1}^I q_{vl} \cdot N_{yl} \cdot W_l}{\sum_{l=1}^I N_{yl} \cdot W_l}$$

q_v^* est donc un facteur de capturabilité composite, calculé en sommant les coefficients de capturabilité des différentes classes de taille pondérées par leur biomasse.

Le coefficient de capturabilité standard q_v^* entraîne un coefficient de mortalité par pêche standard dont nous allons voir ci-dessous à quoi il correspond.

VI-1.5. Relation entre l'effort de pêche standard et le taux de mortalité par pêche standard

Comme par définition $B = Y/F$, la formule de base $D = q.B$ s'écrit aussi :

$$D_{yv} = q_v^* \cdot \frac{Y_{yv}}{F_{yv}^*}$$

Précédemment on a vu en (1) que :

$$D_{yv} = \frac{Y_{yv}}{f_{yv}^*}$$

On en déduit la relation recherchée :

$$F_{yv}^* = q_v^* \cdot f_{yv}^*$$

En remplaçant q_v^* par l'équation 6) on trouve une expression du coefficient de mortalité standard :

$$F_{yv}^* = \frac{\sum_{l=1}^I q_{vl} \cdot N_{yl} \cdot W_l}{\sum_{l=1}^I N_{yl} \cdot W_l} \cdot f_{yv}^*$$

ou encore :

$$F_{yv}^* = \frac{\sum_{l=1}^I F_{yvl} \cdot N_{yl} \cdot W_l}{\sum_{l=1}^I N_{yl} \cdot W_l}$$

VI-1.6. Conséquences de la standardisation

La standardisation, qui est nécessaire à la calibration des deux analyses, va nous permettre de faire des prévisions de capture en faisant varier l'effort de pêche sous réserve toutefois que les deux hypothèses suivantes soient respectées : il faudra faire une première hypothèse concernant l'évolution du facteur de capturabilité. Le plus courant est de le considérer comme constant et indépendant de l'effort de pêche. Puis, il faudra ajouter comme deuxième hypothèse que les variations relatives de capturabilité des différentes modalités (bateaux, strates spatio-temporelles, et classes de taille) sont

constantes d'une année sur l'autre. C'est une généralisation de l'hypothèse de reproductibilité des structures de Laurec et Fonteneau (1979).

La détermination du coefficient de capturabilité standard q^* va permettre premièrement d'améliorer l'ajustement des données à un modèle global - ce coefficient est une des principales inconnues du modèle, et deuxièmement, lorsqu'on dispose d'effectifs capturés par classes d'âge, de déterminer selon une procédure itérative les valeurs de F_y^* en multipliant f_y^* par q^* .

VI-1.6.1. Ajustement des données à un modèle global

La connaissance préalable du facteur q^* permet d'ajuster plus facilement une série de données à un modèle global. En effet, ce coefficient est l'une des quatre inconnues du modèle qui sont rappelons-le : q , K , H , et m .

Le paramètre q^* y joue un rôle important puisque c'est lui qui fixe le degré d'ouverture de la parabole. Quant au paramètre m , qui dans la théorie de Pella-Tomlinson est lié à la relation stock/recrutement, il prend en général une valeur qui tient compte de nos connaissances de la biologie de l'espèce. Il reste donc à estimer deux paramètres : K et H . Ces deux paramètres déterminent le niveau de la biomasse vierge et agissent sur la vitesse de convergence vers l'équilibre lorsque celui-ci n'est pas réalisé (Laloé, 1990).

Ainsi la détermination préalable du paramètre q^* viendra simplifier la mise en oeuvre du modèle global, et un calcul d'ajustement pourra être envisagé même lorsque la série de données disponible sera courte.

VI-1.6.2. Recalage des paramètres F_y^* et f_y^*

Lorsqu'on dispose sur plusieurs années successives des effectifs capturés par classes d'âge, il est possible de déterminer F_y^* à partir de f_y^* et q^* selon la procédure itérative suivante. Tout d'abord on réalise une première APV en fixant arbitrairement une valeur au coefficient F_y^* de la dernière année. La propriété de convergence de la méthode fait que, malgré l'erreur commise sur la valeur initiale de F_y^* , les résultats de calcul donnent pour les années anciennes des valeurs de F_y^* proches de leurs vraies valeurs. Ensuite on calcule sur les années anciennes, appartenant à la zone de convergence, le coefficient de capturabilité entre les facteurs F_y^* et f_y^* . Enfin, en multipliant la valeur trouvée du coefficient q^* par les valeurs de f_y^* sur les années récentes, on obtient les valeurs des F_y^* sur ces mêmes années. On peut poursuivre ainsi de manière itérative jusqu'à ce que la

différence entre les valeurs des F_y^* initiaux et finaux soient inférieures à une valeur minimale donnée.

Lorsqu'on dispose d'une seule année de captures par classes d'âge, on l'analyse comme une pseudo-cohorte en supposant le stock en équilibre. Mais des variations d'effort (et /ou de recrutement) apparaissent souvent. C'est pourquoi Laurec et Santarelli (1986) ont proposé une méthode qui corrige les estimations des F_y^* par les variations d'effort. La méthode est particulièrement intéressante pour l'étude de la dynamique des stocks dont l'exploitation subit un développement important mais ne s'applique pas aux captures par classes de taille comme celles du vivaneau rouge.

VI-2. EXEMPLE D'APPLICATION DES RESULTATS DE L'ETUDE : LES LIMITES DE L'INTENSIFICATION DE L'EXPLOITATION ACTUELLE DU VIVANEAU ROUGE

VI-2.1. Estimation du coefficient de capturabilité

Le taux de mortalité global F^* s'obtient en additionnant les coefficients de mortalité partiels par classes de taille pondérés par leur biomasse :

$$F^* = 0,26 \text{ an}^{-1}$$

Le vecteur F est calculé à partir de la distribution moyenne des effectifs capturés sur la période 1989-1991. L'effort standard correspondant est donc l'effort moyen annuel sur cette même période :

$$f^* = 5561 \text{ jours} \cdot \text{an}^{-1}$$

On en déduit la valeur de q^* en appliquant l'équation $F^* = q^* \cdot f^*$:

$$q^* = 4,68 \cdot 10^{-5} \text{ jour}^{-1}$$

V-2.2. Estimation des autres paramètres de l'équation de Fox

Les calculs sont menés à l'aide du programme GENPROD en donnant aux inconnues recherchées des valeurs initiales accompagnées chacune d'un intervalle d'exploration.

Les valeurs initiales choisies des inconnues et leurs intervalles d'exploration sont les suivantes :

Coeff. de capturabilité	paramètres	FM	UM	r
$q = 0,46 \cdot 10^{-4}$	Valeurs initiales	3000	300	0,8
	Valeurs inférieures	1000	100	0
	Valeurs supérieures	4000	700	1

Valeurs initiales et intervalles d'exploration des inconnues de l'équation de Schaefer.

Sur la figure 46 se trouvent les graphes exprimant la relation à l'équilibre entre l'effort standard d'une part et la production et la PUE standard d'autre part. Les paramètres de l'équation de Schaefer et les points remarquables sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Coeff. de capturabilité	EM(j)	PME(t)	K	H	R
$q = 0,46 \cdot 10^{-4}$	3064	640	1,29056	6,62983	0,48

Estimation des paramètres et des points remarquables de l'équation de Schaefer.

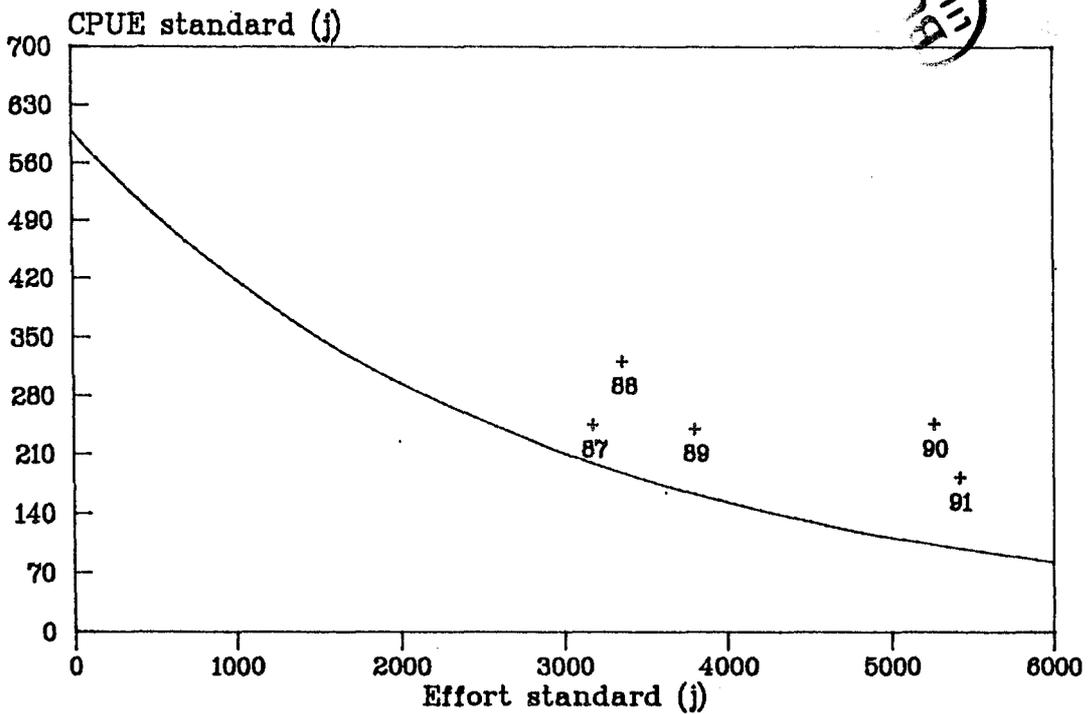
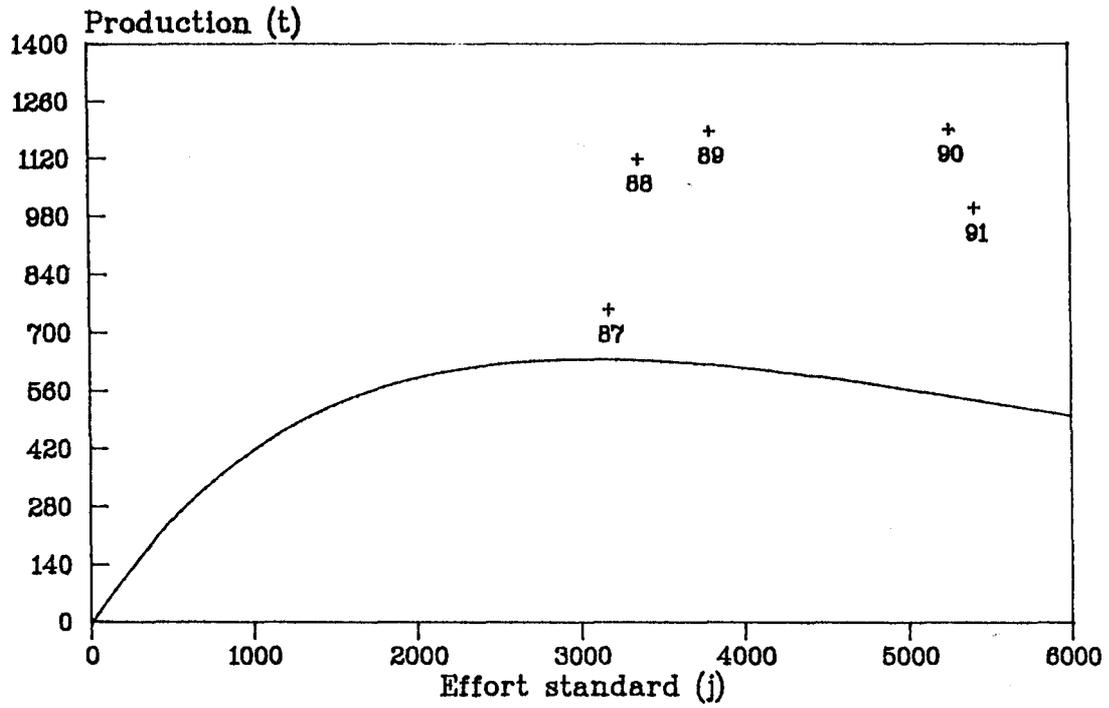


Fig. 46 : Evolution de la production (en haut) et de la PUE standard (en bas) en fonction de l'effort de pêche standard.

VI-2.3. Diagnostic final de l'état du stock de vivaneau rouge : une ressource stable, surexploitée et en phase transitoire

Les points expérimentaux sont supérieurs aux points théoriques du stock - cette théorie supposant un régime stationnaire. Cela s'explique par l'augmentation continue de l'effort de pêche au cours des années passées, en particulier à partir de 1989, qui font que les pêcheurs ont prélevé une quantité supérieure à celle du stock en équilibre. Les modèles utilisés, global et structural, ne prennent théoriquement pas en compte les pêches réalisées en situation transitoire, lorsqu'un stock passe d'un état d'équilibre à un autre état.

De ce qui précède nous déduisons que :

- Si l'effort se maintenait au niveau actuel il faudrait prévoir dans les années à venir une baisse franche de la production.
- Si on voulait maintenir le stock à un niveau tel que la production soit maximale il faudrait ramener l'effort de pêche standard de 5977 jours à un effort proche de celui de l'année 1987, soit 3379 jours, ce qui équivaut à une baisse de 43% de l'effort.

Le stock présente un délai de réponse élevé, de l'ordre de 15 ans, correspondant à la durée de la phase exploitée (20 à 70cm). Cette forte longévité abaisse l'amplitude des fluctuations annuelles d'effectifs et donne à la ressource une relative stabilité. Cette propriété de stabilité du stock de vivaneau rouge entraîne sur les prévisions deux conséquences selon l'échelle de temps considérée. Premièrement la possibilité de réaliser des prévisions fiables de PUE et de production à court terme, sur les deux ou trois années à venir, à l'aide d'une simple relation empirique établie entre la PUE et l'effort de pêche sur les années passées. A long terme (10 ans) elle pourrait laisser croire à un stock pléthorique lequel serait en voie de régression lente et cacherait ainsi une raréfaction inéluctable de la ressource mais prévisible.

VI-3. LES AUTRES SCENARIOS D'EXPLOITATION ENVISAGEABLES

VI-3.1. Les possibilités de chalutage : le vivaneau ti-yeux, une ressource inexploitée

VI-3.1.1. Résultats des pêches expérimentales

Plusieurs campagnes de prospection des ressources chalutables du plateau continental guyanais ont eu lieu dans le passé. La première d'entre elles est la campagne du N.O. "Thalassa" (Abbes et al., 1972). Viennent ensuite les campagnes du chalutier-crevettier "Nisshin Maru 201" (Ladurelle et Lemoine, 1982) et enfin les campagnes du N.O. "André Nizery". Nous allons présenter les rendements et les distributions en taille des captures obtenues par ces dernières. Les données brutes figurent en annexe 8.

Elles établissent que trois espèces de lutjanidés pourraient se prêter à une pêche commerciale. Le vivaneau rouge *Lutjanus purpureus* et le vivaneau ti-yeux *Rhomboplites aurorubens* se pêchent entre 60m et la bordure du plateau continental vers 90m. L'habitat de la troisième espèce, le vivaneau rayé *Lutjanus synagris*, se situe entre 30 et 60m de profondeur. Cette distribution bathymétrique est présentée sur la figure 47. Elle est identique à celle obtenue précédemment par Ladurelle et Lemoine (1982).

L'espèce principale capturée est, en poids, le vivaneau ti-yeux comme le montre le tableau 18 ci-dessous. Viennent ensuite le vivaneau rouge et le vivaneau rayé.

Espèce-Campagne	GV2	GV3	GV4	moyenne
V.ti-yeux	65	70	88	74
V.rouge	24	15	6	15
V.rayé	11	15	7	11

Tab. 18 : Fréquence spécifique (en %) des captures pondérales de lutjanidés au chalut de fond.

Au cours de ces campagnes les traits de chalut ont été répartis sur l'ensemble du plateau continental. Par conséquent les rendements moyens sont faibles et ne peuvent servir à prévoir de futurs rendements commerciaux. Néanmoins, on retiendra à titre indicatif les plus forts rendements obtenus (Tab.19) :

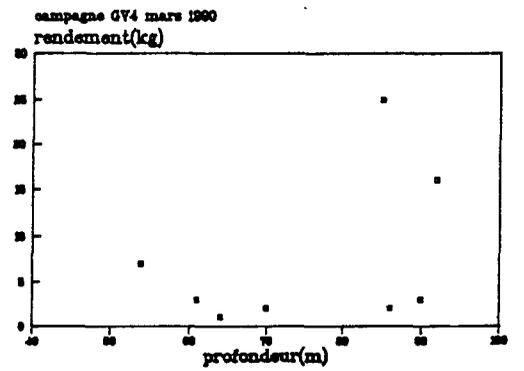
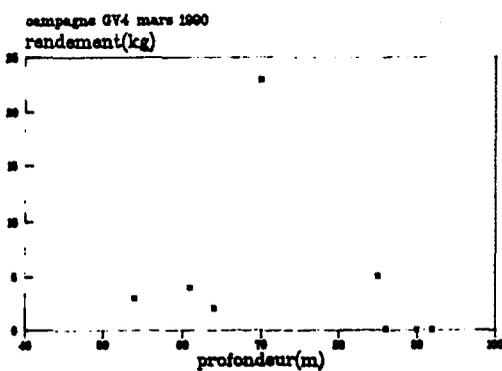
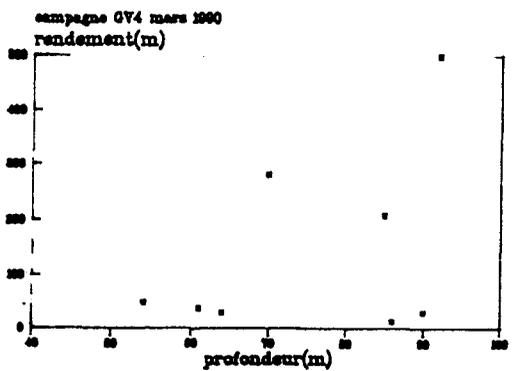
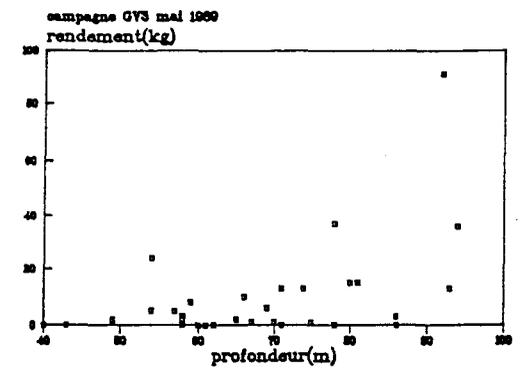
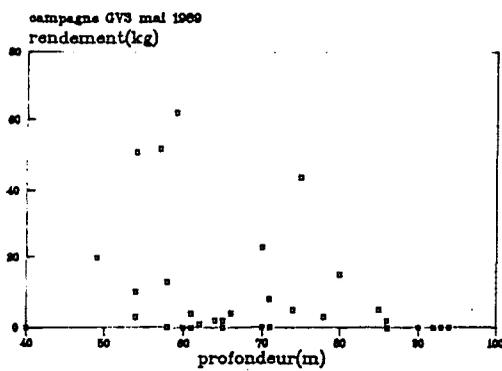
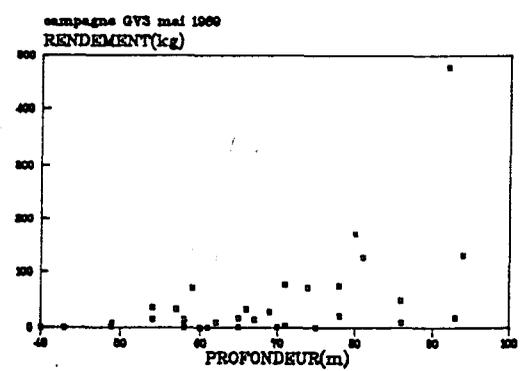
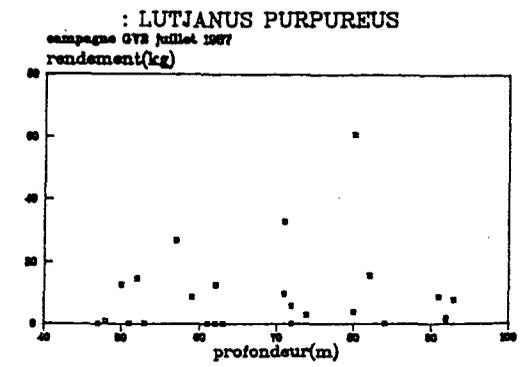
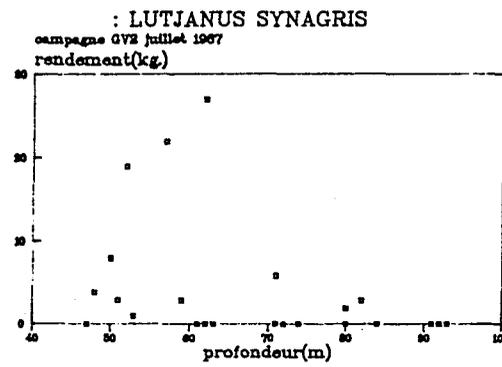
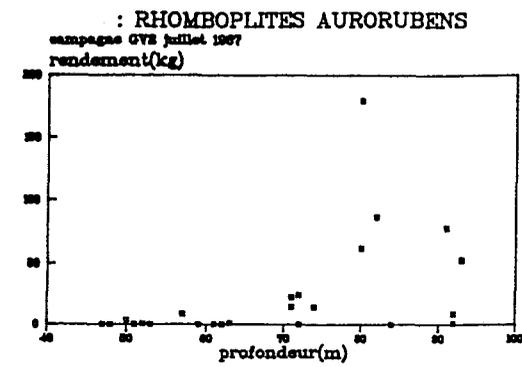


Fig. 47 : Distribution bathymétrique des rendements de lutjanidés obtenus au chalut de fond par le N.O. "André Nizery".

Campagne-Espèce	V.rayé	V.rouge	V.ti-yeux
GV2	100	60	180
GV3	52	91	477
GV4	23	25	499

Tab. 19 : Rendements maximaux (en kg/demi heure de trait) des espèces de lutjanidés capturées au chalut de fond.

Les vivaneaux rouges pêchés sont composés d'individus inférieurs à 35cm (Fig.31) lesquels sont pour la plupart immatures. Les deux autres espèces ont des tailles plus petites qui ne dépassent guère 35cm (Fig.48) : Les tailles sont comprises entre 20 et 35cm pour le vivaneau rayé et entre 14 et 30cm pour le vivaneau ti-yeux.

VI-3.1.2. Résultats des pêches commerciales

En 1986 un chalutier martiniquais d'une longueur de 25m, "Le kayali", a réalisé 120 jours de pêche commerciale aux poissons sur le plateau continental guyanais. Ses rendements sont consignés dans des fiches remplies par le patron pêcheur. Les statistiques suivantes en sont extraites (Tab.20) :

PUE (kg/jr de mer)	TOTAL		VIVANEAUX	
	moyenne	écart-type	moyenne	écart-type
	960	505	810	414

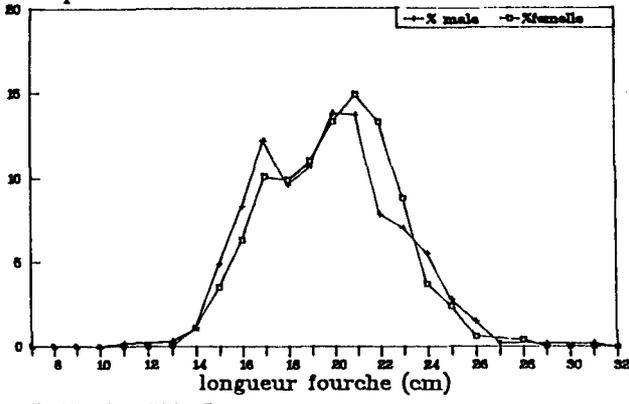
Tab. 20 : Rendements commerciaux en poisson.

A partir des résultats expérimentaux précédents on peut estimer les proportions des espèces de lutjanidés qu'aurait réalisé ce chalutier : elle serait composée de 74% de vivaneau ti-yeux, de 15% de vivaneau rouge et de 11% de vivaneau rayé.

: RHOMBOPLITES AURORUBENS

campagne GV3 mai 1969

fréquence relative

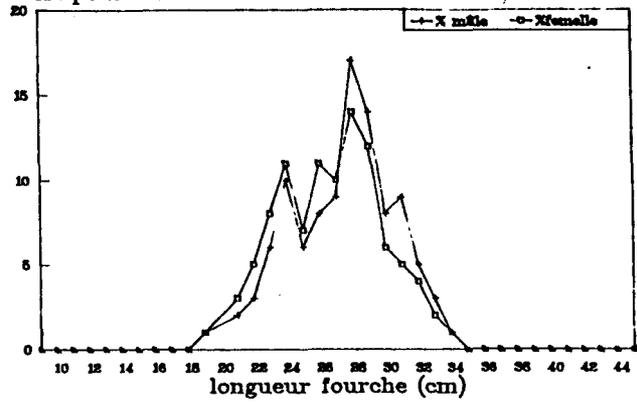


N = 545 males + 614 females

: LUTJANUS SYNAGRIS

campagne GV3 mai 1969

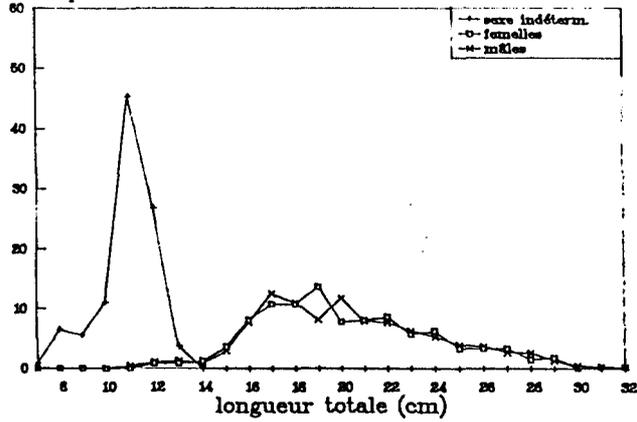
fréquence relative



N = 332 males + 333 females

Campagne GV2 Juillet 1967

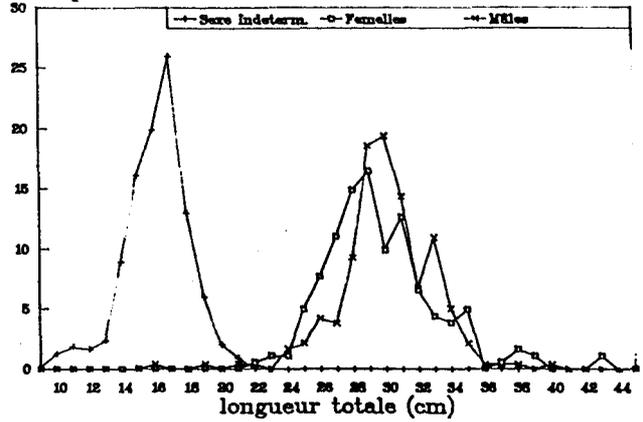
fréquence relative



N = 361 mâles + 336 femelles

campagne GV2 juillet 1967

fréquence relative



N = 237 mâles + 168 femelles



Fig. 48 : Distribution des fréquences en taille de vivaneau ti-yeux et de vivaneau rayé capturés au chalut de fond par le N.O. "André Nizery".

VI-3.2. Développement d'une flottille locale de ligneurs-palangriers

Des projets existent, venant de la part des pêcheurs locaux, pour s'agrandir et tenter de pêcher par eux mêmes le stock de vivaneau rouge. C'est une possibilité d'évoluer pour les artisans locaux vers des bateaux plus puissants et d'étendre leur terrain de pêche vers le large.

La question qui se pose est de nature économique : quel est le montant de l'investissement et quelles innovations techniques doit-on retenir pour qu'une telle pêche soit rentable ?

La réponse peut être apportée par une étude en deux points : l'élaboration d'un compte d'exploitation prévisionnel et sa validation par des campagnes expérimentales de type technico-économique.

VI-3.3. Les interactions entre les différentes composantes d'exploitation

La ressource exploitable en lutjanidés au large de la Guyane comporte donc trois espèces : le vivaneau rouge, le vivaneau ti-yeux, et le vivaneau rayé. Les différentes façons de les exploiter sont schématisées dans le tableau 21. Nous allons les passer en revue en essayant de dégager leurs interactions éventuelles.

- le vivaneau rouge *Lutjanus purpureus*

Son exploitation à la ligne pourrait intéresser des artisans locaux qui se retrouveraient en compétition directe avec les ligneurs vénézuéliens. En cas de surexploitation du stock, le partage de la ressource se ferait vraisemblablement en faveur des pêcheurs locaux. La ressource leur est donc virtuellement acquise. Le conflit pourrait alors se déplacer à terre entre les transformateurs et les nouveaux arrivants dans la mesure où ces derniers mettraient en place de nouveaux circuits de commercialisation de leur production.

Cette espèce pourrait aussi devenir une capture accessoire d'une nouvelle flottille de chalutiers à poissons. La fraction capturée du stock serait composée d'individus juvéniles alors que les ligneurs pêchent une majorité d'individus adultes. Les chalutiers pourraient donc porter préjudice aux ligneurs en pêchant des petits poissons. Ces deux métiers, concentrant leur activité sur des groupes d'âge différents, se trouveraient en face d'une compétition indirecte de type séquentiel.

Flottes / Espèces		Espèces exploitées		Espèce non - exploitée
		Vivaneau rouge	Vivaneau rayé	Vivaneau ti-yeux
flottes	crevettiers		chalut de fond (esp.accessoire)	chalut de fond (esp.cible)
	ligniers vénézuéliens	ligne (esp.cible)		
existantes	navires côtiers	ligne automatique (esp.cible)		
flotte nouvelle	chalutiers à poissons	chalut de fond (esp.accessoire)	chalut de fond (esp.cible)	chalut de fond (esp.cible)



composante d'exploitation. A l'intérieur de chaque composante sont indiqués l'engin de pêche utilisé et , entre parenthèses, si la ressource est une espèce cible ou accessoire. Les composantes nouvelles sont signalées par des caractères gras.



Tab 2.1 : Schéma des différentes composantes d'exploitation des lutjanidés.

Les individus adultes sont invulnérables au chalut de fond. Ils vivent enfouis dans les infractuosités des roches et des massifs coralliens. A l'occasion ils décollent du fond et adoptent un comportement grégaire entre deux-eaux. Ils pourraient devenir vulnérables au chalut pélagique. Mais la mise en oeuvre d'un tel engin au pouvoir de capture élevé risque de compromettre la survie du stock. Ainsi le développement du chalutage pélagique dans les années 1975-1980 dans la pêche artisanale métropolitaine a fait disparaître des stocks comme par exemple celui de dorade grise (Perodou et Nedelec, 1980) qui présente des analogies avec le stock de vivaneau rouge : ce sont des espèces démersales peu mobiles, localisées au dessus de fonds durs, facilement détectables au sondeur et présentant une longévité élevée.

- le vivaneau ti-yeux *Rhomboplites aurorubens*

C'est l'espèce principale capturée au chalut de fond. Elle n'est pas à l'heure actuelle exploitée et constitue donc une ressource potentiellement intéressante tant pour la pêche crevettière qui cherche à diversifier sa production que pour l'activité d'une nouvelle flottille de chalutiers à poissons. Ces deux métiers seraient alors en compétition directe pour son exploitation.

- le vivaneau rayé *Lutjanus synagris*

Elle constitue seulement une espèce accessoire des crevettiers et fait partie de la "godaille" des équipages. Elle pourrait devenir une espèce cible de la part des chalutiers à poissons. Dans ce cas il y aurait une compétition spatiale avec les crevettiers puisque les aires de chalutage de ces deux métiers se superposent.

VII- CONCLUSION GENERALE

VII- CONCLUSION GENERALE

L'exploitation du vivaneau rouge vient en deuxième rang dans la pêche guyanaise, après celle des crevettes pénéides. Cette pêche, monométier et monospécifique, est une activité traditionnelle des pêcheurs vénézuéliens. L'espèce est capturée par des ligneurs de 15 à 20m de longueur. La flottille est peu mécanisée et demande une main d'oeuvre abondante (14 marins par bateau). 95% de la production est exportée vers les Antilles et la métropole.

L' évolution de cette activité a été marquée en 1977 par le passage d'un régime de libre accès à la ressource, à un régime de limitation grâce à l'instauration des ZEE. Depuis, l'effort de pêche et la capture n'ont pas cessé de croître, et sont passés de 5 navires produisant de l'ordre de 45t en 1980 à 43 navires produisant 1000t en 1991. Cette augmentation de l'effort de pêche s'est faite régulièrement en fonction de l'accroissement de la capacité de production des transformateurs guyanais, qui a été au cours de la décennie passée, le facteur limitant du développement de cette exploitation. C'est un exemple de développement "harmonieux" d'une pêcherie dont la production a été multipliée par dix en dix ans et qui dégage, aujourd'hui encore, une valeur ajoutée sous forme d'emplois.

Face à cet essor, le problème posé était d'identifier et d'évaluer les stocks de lutjanidés, en particulier celui de vivaneau rouge, de déterminer leur potentialité de production et de proposer différents scénarios d'exploitation envisageables. Pour répondre, du moins en partie, à ce problème complexe, nous avons étudié la dynamique de la population de vivaneau rouge en utilisant les approches globale et analytique, puis en recalant ces deux analyses à partir de la détermination du coefficient q de capturabilité qui est, rappelons-le, la probabilité qu'a une unité de biomasse d'être capturée par une unité d'effort de pêche. Ainsi nous sommes en mesure de simuler numériquement les variations de production engendrées par des variations d'effort de pêche.

La première partie de l'étude a été consacrée à l'analyse des statistiques de pêche concernant l'exploitation du vivaneau rouge. Les captures et les efforts annuels ont été établis sur une période de 5 ans (1987-1991). Puis les PUE ont été traitées à l'aide d'un modèle multiplicatif à trois facteurs, qui fournit les puissances de pêche des navires, les indices d'abondance apparente dans les strates spatio-saisonnnières, et les indices annuels d'abondance apparente.

Les puissances de pêche des navires se sont révélées homogènes. Leur variation s'explique simplement par une différence de savoir-faire entre les équipages. Les variations d'abondance spatio-saisonnière mettent en évidence une augmentation de densité pondérale avec la profondeur, bien marquée quelque soit le mois d'activité et qui reflète des conditions hydrologiques stables. L'indice annuel d'abondance montre une tendance à la baisse, en moyenne de 28 %, au cours des 5 années d'observations dont la cause principale est attribuée à l'augmentation corrélative de l'effort de pêche qui croît en moyenne de 87 % pendant cette même période.

Ces indices annuels ont permis de calculer des efforts standards. La relation entre l'effort standard et la production est examinée. L'indétermination qui s'en dégage a pour origine un petit nombre d'observations annuelles (5), ainsi qu'une fenêtre d'observations trop étroite.

La deuxième partie de l'étude a été affectée à l'analyse structurale de la dynamique du stock de vivaneau rouge. Le but principal est, rappelons-le, de combiner les paramètres de croissance et de mortalité de façon à prévoir les biomasse et rendement par poisson recruté lorsque varie le taux d'exploitation. Auparavant, il a fallu acquérir les paramètres biologiques nécessaires à l'analyse.

Des observations sur l'état de maturité des ovaires ont eu lieu durant les mois de juillet, août, octobre et novembre. Il en ressort que le vivaneau rouge a une activité de ponte en juillet. Ce résultat semble réfuter le cycle du stock nord-est du Brésil qui se reproduit entre octobre et avril avec un pic principal en avril et un pic secondaire en octobre. Nos observations sont trop peu abondantes pour dresser un schéma précis du cycle de reproduction, mais par analogie avec la reproduction des poissons tropicaux, il est probable que le vivaneau rouge ait une ponte continue avec deux ou trois pics de plus fortes activités reproductrices. La longueur à laquelle 50 % des individus femelles atteignent leur première maturité sexuelle est estimée à 32 cm. Ce pourcentage passe de 0 à 100 % entre 26 et 38 cm.

En raison du manque de fiabilité rencontré dans la détermination de l'âge par sclérochronologie, les paramètres de croissance de l'équation de Von Bertalanffy sont approchés de manière indirecte. L_{∞} est estimé à 95 cm (longueur à la fourche caudale) par la méthode de Powell. En plus du point L_{∞} , trois couples de valeurs modales de cohortes contiguës sont déterminés sur des distributions en taille d'individus juvéniles. K est estimé à $0,12 \text{ an}^{-1}$ en considérant que l'intervalle de temps entre deux tailles modales est d'un an. L'espèce aurait donc une longévité de l'ordre de 20 ans. Les valeurs trouvées sont proches de celles obtenues par d'autres auteurs.

L'évolution annuelle de la distribution en taille des captures a montré, qu'entre 1986 et 1990, la moyenne et l'écart-type ont baissé respectivement de 5,9 % et 8,1 %. A partir

de la structure en taille moyenne des années 1989-1990, les coefficients de mortalité par pêche ont été estimés en appliquant la méthode de l'APV. L'utilisation des paramètres de croissance a permis de transformer les classes de taille en classes d'âge. Les points remarquables des coefficients de mortalité par pêche sont les suivants : le taux de mortalité croît entre 22 et 41 cm jusqu'à atteindre la valeur de $0,32 \text{ an}^{-1}$. Ensuite il décroît jusqu'à la taille de 60 cm et passe de la valeur de $0,32$ à $0,20 \text{ an}^{-1}$, avec une valeur moyenne de $0,24 \text{ an}^{-1}$. Au delà de 60 cm, il remonte avec une valeur moyenne égale à $0,26 \text{ an}^{-1}$.

Tous ces paramètres ont été utilisés comme variables d'entrée du modèle de Thompson et Bell. Les principaux résultats de la dynamique du stock sont les suivants : avec l'effort de pêche actuel, le stock aurait atteint son niveau maximum d'exploitation, et toute augmentation de l'effort entraînerait à l'équilibre une diminution de la production. Par exemple, un doublement du multiplicateur du diagramme d'exploitation provoquerait une baisse de la production de 5,8 %. Toute augmentation de l'effort entraînerait également une diminution de la PUE : un doublement de l'effort provoquerait une baisse de la PUE de 47 %. La valeur de la biomasse féconde est estimée à 26 % de celle du stock vierge. Cette valeur passerait à 12,6 % en doublant l'effort de pêche. La longueur $L_{100} = 38 \text{ cm}$ de première maturité sexuelle est proche de la longueur de pleine capturabilité (41 cm), si bien que la majeure partie des prises est constituée d'animaux adultes. L'augmentation de la taille des hameçons ne protégerait pas davantage de la pêche le stock d'animaux immatures. C'est pourquoi la régulation de l'activité de pêche par la modification de la taille des hameçons ne semble pas opportune aujourd'hui.

La sensibilité du modèle aux conditions initiales a été analysée. La fonction de rendement par recrue est surtout sensible aux paramètres de croissance L_{∞} et K . Les coefficients de sensibilité exprimés en proportion de la sensibilité totale de la fonction valent respectivement 64,7 % et 19,3 % pour le niveau d'exploitation actuel. Le paramètre M joue également un rôle important. Son coefficient de sensibilité est estimé à 19%. L'influence du paramètre F^* , qui est le coefficient de mortalité par pêche de la classe de taille terminale $L(I^*)$, est modérée. Le coefficient de sensibilité est estimé à 6 %.

Lorsqu'on compare les coefficients de sensibilité de la fonction de rendement par recrue à ceux de la fonction de mortalité, il en ressort une diminution du rôle des paramètres de croissance, une amplification du rôle de la mortalité naturelle M , et un amortissement du rôle de F^* et de l'erreur d'estimation de la distribution en taille des effectifs capturés.

Les résultats du modèle structural dépendent donc principalement des paramètres de croissance. Ces derniers ont été estimés selon une méthode commode et provisoirement acceptable compte tenu des difficultés rencontrées dans la lecture des pièces

squelettiques. Les conclusions sur les potentialités d'exploitation du stock seraient donc susceptibles d'évoluer si une étude approfondie de la croissance était entreprise.

La dernière partie de l'étude a été consacrée à la complémentarité des deux analyses précédentes par la détermination du coefficient de capturabilité q , qui est un coefficient de proportionnalité entre l'effort de pêche standard et le coefficient de mortalité par pêche standard. q est un facteur standard égal à la somme des coefficients partiels de capturabilité des classes de taille pondérés par leur biomasse. Le coefficient standard de mortalité par pêche est estimé à 0.26 an^{-1} et l'effort standard à 5561 jours. On en déduit que la valeur de q est égale à $0.47 \cdot 10^{-4} \text{ jour}^{-1}$.

La détermination du coefficient de capturabilité a permis d'ajuster les données au modèle global de Fox, dont nous allons présenter les principales conclusions. L'augmentation continue de l'effort de pêche au cours de ces dernières années, en particulier à partir de 1989, a fait que les pêcheurs ont prélevé une quantité supérieure à celle du stock en état d'équilibre et que la PME serait dépassée pour l'effort de pêche actuel. C'est la raison pour laquelle les points expérimentaux obtenus en situation transitoire sont supérieurs aux points théoriques du stock - cette théorie supposant un régime stationnaire. Le stock présente un délai de réponse élevé, de l'ordre de 15 ans, correspondant à la durée de la phase exploitée. Cette longévité abaisse l'amplitude des fluctuations annuelles d'effectifs et donne à la ressource une relative stabilité qui entraîne sur les prévisions deux conséquences selon l'échelle de temps considérée. Premièrement, la possibilité de réaliser des prévisions fiables de PUE et de production à court terme, sur les deux ou trois années à venir, à l'aide d'une simple relation empirique établie entre la PUE et l'effort de pêche sur les années passées. A long terme (10 ans), elle pourrait laisser croire à un stock pléthorique lequel serait en voie de régression lente et cacherait ainsi une raréfaction inéluctable de la ressource mais prévisible.

De ce qui précède nous déduisons que :

- si l'effort se maintenait au niveau actuel, il faudrait prévoir dans les années à venir une baisse de production.
- si on voulait maintenir le stock à un niveau tel que la production soit maximale, il faudrait ramener l'effort de pêche actuel de 5977 jours à un effort proche de celui de l'année 1987 (soit 3379 jours), ce qui équivaut à une baisse de 43 % de l'effort.

Ainsi, au cours de cette étude de la population de vivaneau rouge, nous avons d'abord recueilli des données tant sur le terrain que dans la littérature. Puis nous les avons compilées, ordonnées et traitées jusqu'à faire des prévisions de capture qui, si elles apparaissent solides, en revanche, ne sont pas éternelles. On peut conclure aujourd'hui que l'exploitation du stock de vivaneau rouge a été raisonnablement prometteuse et que

la Prise Maximale Equilibrée serait dépassée pour l'effort de pêche actuel. Il convient donc de ne plus augmenter cet effort de pêche pour éviter une trop grande raréfaction de la population. Sinon, son délai de reconstitution, qui est de l'ordre de 15 ans, serait suffisamment long pour provoquer des situations sans issue dans les unités de production spécialisées, à terre comme en mer.

Les résultats acquis sur la dynamique du stock de vivaneau rouge n'ont pas la prétention d'être exhaustifs ni définitifs. Les causes d'incertitude sur l'état réel du stock, son taux d'exploitation et les prévisions de capture que l'on peut faire en fonction de l'effort de pêche ont pour origine :

- une série historique trop courte (5 ans)
- une difficulté dans l'estimation des paramètres de croissance
- la possibilité de faire des prévisions seulement en situation d'équilibre et non en période transitoire, longue à cause de la longévité de l'espèce.

Dans ces conditions, quel degré de confiance peut-on accorder au présent diagnostic de l'état du stock ?

D'abord, l'information traitée qui émane de plusieurs sources ne présente pas de faits contradictoires, ce qui donne de la force aux résultats obtenus. Ensuite, il convient de ne pas attacher trop d'importance à l'aspect quantitatif des choses : les modèles utilisés ont permis de synthétiser nos connaissances et d'obtenir une description dynamique d'ensemble, suffisante en pratique pour dégager des tendances et tenter de les modifier en pilotant le système. Si on n'a pas résolu de manière absolue le problème posé, en particulier à cause du flou qui persiste dans la croissance du vivaneau rouge, au moins avons-nous fait évoluer le regard que l'on portait sur lui.

A l'avenir, les conclusions pourront évoluer en fonction de l'information qui sera nouvellement acquise. Les recherches pourraient être poursuivies indépendamment dans trois directions : le suivi de la pêcherie, l'amélioration des connaissances des paramètres biologiques, et enfin l'analyse économique.

Le suivi de la pêcherie pourrait être étendu, dans le cadre d'une coopération internationale à l'ensemble du plateau des Guyanes, de l'Amazone à l'Orénoque, de façon à comparer les pêcheries de vivaneaux entre elles, et à tenir compte des interactions à la fois techniques et biologiques qui ne manqueront pas d'apparaître.

La validation des paramètres de croissance et de mortalité naturelle mériterait d'être approfondie. La détermination directe de l'âge sur les pièces squelettiques nécessiterait la mise en oeuvre de nouvelles techniques de microscopie et de traitement d'image. Une fois la procédure mise au point, elle pourrait déboucher sur la détermination en routine de la structure d'âge de la population. D'autre part, les modèles utilisés sont sensibles au choix du coefficient instantané de mortalité naturelle M , ce paramètre intervenant plus d'une fois dans les modèles, et souvent en tant qu'exposant. Ce paramètre est inconnu comme

dans la plupart des stocks de poissons commerciaux, même parmi ceux qui sont les plus étudiés. La raison est que son estimation est très difficile à obtenir. Ce défaut de connaissance nous amène à faire des hypothèses simplificatrices. Tout d'abord, M est considéré comme constant, bien qu'il dépende de l'âge des poissons. Ensuite, il est considéré comme indépendant, alors qu'il existe des interactions avec les autres paramètres du modèle. La valeur de M modifie les valeurs des autres paramètres (et réciproquement), en particulier de F , et les conséquences du choix d'une valeur incorrecte de M dépendent donc très largement de la valeur de M relativement à F .

La mise en place d'un modèle économique aurait pour but de simuler, du point de vue des deux principaux agents économiques que sont les entreprises de transformation et les ligneurs, l'évolution de la valeur des captures et de la rente économique en fonction de l'effort de pêche. La formation des prix pourra être étudiée en fonction des quantités débarquées, des tailles des poissons, du cours du dollar et de la saison ; les coûts de production pourront être répartis en coûts incompressibles, coûts proportionnels au volume des captures et enfin coûts proportionnels au temps passé en mer par les navires. Enfin l'analyse des coûts d'investissements complètera l'estimation des paramètres nécessaires à la modélisation économique.

Par ailleurs, la ressource en lutjanidés au large de la Guyane comporte deux autres espèces exploitables : le vivaneau ti-yeux *Rhomboplites aurorubens* est l'espèce principale capturée au chalut de fond. Elle est à l'heure actuelle inexploitée et constitue donc une ressource potentiellement intéressante tant pour la pêche crevettière qui cherche à se diversifier que pour l'activité d'une nouvelle flottille de chalutiers à poissons.

Le vivaneau rayé *Lutjanus synagris* constitue seulement une espèce accessoire des crevettiers et pourrait devenir une espèce intéressante pour des chalutiers à poissons. Les ressources côtières en espèces démersales sont constituées d'un nombre élevé d'espèces, sans qu'un petit nombre d'entre elles domine les autres. L'espèce la plus importante ne représenterait que de l'ordre de 5 % de la prise démersale totale. L'exploitation reposerait donc sur l'ensemble du peuplement, d'où la nécessité de prendre en compte à la fois l'aspect écologique et halieutique. Les perspectives de recherches les plus prometteuses seraient de décrire le comportement du système sans référence à la notion d'espèce, en ne considérant que l'aspect fonctionnel de l'écologie de la ressource, en relation avec l'effort de pêche.

A l'avenir, les professionnels et les représentants des administrations locale, nationale et européenne devront intégrer les limites d'exploitation du stock de vivaneau rouge dans leurs prises de décisions. L'accroissement de l'activité des entreprises passera par

l'accroissement progressif des captures d'autres espèces de poissons du plateau continental. Aujourd'hui la pêche guyanaise est structurée en trois compartiments bien individualisés qui révèlent sa jeunesse : la pêche des crevettes pénéides, la pêche du vivaneau rouge, et la pêche des poissons côtiers. La diversification des espèces qu'elle devra entreprendre ira vers une plus grande imbrication de ses trois composantes. Des trois, c'est assurément la pêche aux poissons côtiers qui apparaît comme la plus prometteuse. Mais si des ressources potentielles en poissons existent encore en Guyane, leur exploitation est conditionnée par la mise en place préalable d'une stratégie de commercialisation à l'exportation, de façon à trouver de nouveaux marchés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abbes R., Y. Aldebert, D. Dorel, C. Leroy, R. Lemen, J. Prado, C. Saint-Felix, 1972. Reconnaissance des fonds de pêche de la Guyane française. Science et pêche, Bull. Inst. Pêches marit., 210, 22p.
- Abramson N.J., 1971. Computer programmes for fish stock assessment. F.A.O. Fish. Biol. tech. Pap., 101.
- Allen G.R., 1985. FAO species catalogue. Vol. 6. Snappers of the world. An annotated and illustrated catalogue of lutjanid species known to date. FAO Fish. Synop., 125, vol.6 : 208p.
- Almeida N.U.M., 1965. Estudos preliminares sobre a primeira maturação sexual, época de desova e sex-ratio do pargo *Lutjanus aya* no nordeste. B. Est. Pesca 5, 7-17.
- Anonyme, 1979. Atlas des départements français d'outre-mer. IV La Guyane. co-édité par le CNRS et L'ORSTOM.
- Anonyme. Rapports annuels d'activité de la Guyane de l'Institut d'Emission des Départements d'Outre Mer (IEDOM).
- Anonyme, 1983(a). Relatório da reunião do grupo permanente de estudos sobre lagosta e pargo, realizada em Tamandare, de 21 a 24 de junho de 1983. 173p.
- Anonyme, 1983(b). Report of the resource survey on the deep sea shrimps and bottom fishes in the waters off Surinam and French Guiana, 1981-1982. JAMARC Report, 19, 65p.
- Anonyme, 1984. Reports of the ad hoc working group on the use of effort data in assessments and of the working group on methods of fish stock assessments ICES, Coop. Res. Rep., 129.
- Anonyme, 1987. Assessment of technical interactions in mixed fisheries. Report of a workshop held at Ifremer-Nantes.

Aubin-Otteinheimer G., 1986. La cardine *Lepidorhombus whiff-iaonis* : étude biologique et dynamique du stock de mer celtique. Thèse 3^{ème} cycle, Université de Paris VI, 179p.

Barbault R., 1981. Ecologie des populations et des peuplements. Masson, Paris, 200p.

Bellail R., 1990. Catalogue des engins de pêche de la Guyane française. Sous presse.

Bhattacharya C.G., 1967. A simple method of resolution of a distribution into gaussian components. *Biometrics*, 23, 115-133.

Bertalanffy L.V., 1938. A quantitative theory of organic growth. *Hum. biol.*, Baltimore, 10(2), 191-213.

Caillard B., E. Morize, 1990. Etude du rythme de dépôt des microstries sur les otolithes d'un serranidae tropical, *Epinephelus microdon (bleeker)*, à l'aide d'un marqueur fluorescent : l'oxytétracycline. (à paraître).

Charlier P., 1989. Fisheries in Suriname. Current Status and Potentiel for Development. E.D.F. Project n° 6605.36.59. 003

Charuau A. (1986). - Etude d'une gestion optimale des pêcheries de langoustine et de poissons démersaux en mer Celtique. Rapports CEE (DG XIV) et IFREMER.

Chevallier P., A. Laurec, 1990. Logiciels pour l'évaluation des stocks de poisson. ANALEN : logiciel d'analyse de données de capture par classes de taille et de simulation des pêcheries multi-engins avec analyse de sensibilité. FAO Document technique sur les pêches, 101, Suppl.4, 124p.

Cochran W.G., 1977. Sampling techniques. 3rd edition. Wiley and Sons, New-York, 413p.

Colin C., R. Chuchla, J. Merlivat, 1990. Résultats hydrologiques et courantologiques des campagnes NOE (mai, juin et juillet 1989). Document scientifique du centre ORSTOM de Cayenne N° O.P.II, 46p.

Colin C., R. Chuchla, B. Bourles, P.Y. Noyer, 1991. Résultats hydrologiques et courantologiques des campagnes NOE (janvier, février, mars et octobre 1990). Document scientifique du centre ORSTOM de Cayenne N° O.P.III, 76p.

Colin C., B. Bourles, 1992. Western boundary currents in front of French Guiana. PICG "Colloques et séminaires de l'ORSTOM", à paraître.

Cushing D.H., 1975. Marine ecology and fisheries. Cambridge University Press, 278p.

Delpech J.P., R. Emonnet, L. Reynal, M.J. Buffe-Lidove, 1989. Chaîne de traitement des statistiques de pêche maritime. Rapports internes de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER, N°89.001-RH, 247p.

Desse M., 1986. La pêche côtière en Guyane. Mémoire DAA en géographie de l'université de Bretagne occidentale, 218p.

Dintheer C., B. Gilly, J.Y. Le Gall, M. Lemoine et J.Rose, 1989. La recherche et la gestion de la pêcherie de crevettes pénéides en Guyane Française de 1958 à 1988 : trente années de surf. Equinoxe, 28, 21-33.

Durand J., 1959. Notes sur le plateau continental guyanais : les éléments principaux de la faune et leurs relations avec le fond. Cah. Orstom, 3, 1-93.

Fisher R.A., 1958. The genetical theory of natural selection. Dover, New York, ed 2, 158 p.

Fores-Hernandez D., 1990. Les pêcheries de congre (Conger conger) dans le Mor-Braz, Bretagne sud. Eléments de biologie et de gestion de la ressource). Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille II. 150 p.

Fontana A., 1979. Etude du stock démersal côtier congolais. Biologie et dynamique des principales espèces exploitées. proposition d'aménagement de la pêcherie. Thèse de doctorat d'état, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris VI, 300p.

Fonteles-Filho A.A., 1972. Estudo sobre a biologia da pesca do pargo, *Lutjanus purpureus* Poey, no nordeste brasileiro- dados de 1970 e 1971. Arq. Ciên. Mar, 12, 21-26.

Fourmanoir P., 1968. La pêche au pagre, *Lutjanus aya*, au large de la Guyane et du Brésil. La Pêche Maritime du 20 mars 1968, 183-186.



Fox W. W. Jr., 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 99(1), 80-88.

Fox W.W.Jr., 1971. Random variability and parameter estimation for the generalized production model. *Fish. Bull.*, 69, 569-580

Fox W.W.Jr., 1975. Fitting the generalized stock-production model by least square and equilibrium approximation. *Fish. Bull.*, 73, 23-27.

Frontier S. (édit.), 1983. *Stratégies d'échantillonnage en écologie*. Masson, collection d'Ecologie n°17, 512 p.

Frontier S., D. Pichot-Viale, 1991. *Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution*. Masson, collection d'Ecologie n°21, 392 p.

Gavaris S. 1980. Use of multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 2272-2275.

Geistera T.C.V., C.T.C. Ivo, 1973. Estudo da reprodução e fecundidade do pargo, *Lutjanus purpureus* Poey, do norte e nordeste do Brasil. *Arcq. Ciên. Mar.*, 13, 109-112.

Gondeau E., Biseau A., 1987. Apport des méthodes d'ordination en typologie des flottilles. *J. Cons. Int. Explor. mer*, 44.

Gonzales L.W., 1990. Edad y crecimiento del pargo colorado *lutjanus purpureus* e índice de abundancia de la pesquería de media altura pargo-mero en la región oriental de Venezuela. *Contribuciones científicas Universidad de Oriente, núcleo de Nueva Esparta*, 73p.

Grimes C.B., 1987. Reproductive biology of the Lutjanidae : a review. In : *Tropical snappers and groupers : Biology and fisheries management*, edited by J.J. Polovina et S. Ralson. Westview Press, Boulder and London. 239-294.

Gros P., 1983. Echantillonnage à plusieurs niveaux. Séminaire "Echantillonnage" à Nantes.

Gulland J. A., 1956. On the fishing effort in english demersal fisheries. Fish. Invest., London (2), vol XX.

Ivo C.T.C., A.J. Hansen, 1982. Aspectos da biologia e dinamica populacional do pargo, *Lutjanus purpureus* Poey, do norte e nordeste do Brasil. Arq. Ciên. Mar., 22, 1-14.

Jones R., 1974. Assessing the long term effects of changes in fishing effort and mesh size from length composition data. Int. Counc. Explor. Sea, CM 33, 13p.

Ladurelle C., M. Lemoine, 1982. Reconnaissance des ressources en poissons chalutables du plateau continental de la Guyane française (campagnes réalisées à bord du navire "Nisshin Maru 201" en octobre 1981 et mai 1982). Rapport de mission, août 1982.

Lambert T.C., D.M. Ware, 1984. Reproductive strategies of demersal and pelagic spawning fish. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 41, 1565-1569.

Laloé F., 1988. Un modèle global avec quantité inaccessible liée aux conditions environnementales. Application aux données de la pêche ivoiro-ghanéenne de *Sardinella aurita*. Aquat. Living Resour. 1, 289-298

Laloé F., 1990. Contribution à l'étude du modèle global pour la dynamique des populations marines exploitées. Formulation, ajustement, sensibilité à certaines sources d'erreur. Biométrie et océanographie, sous la direction de S. Frontier. Société de biométrie, 6. IFREMER, Actes de colloques 10, 177p.

Laloé F., 1992. Utilisation des modèles globaux dans le contexte des études sur la pêche artisanale au Sénégal.

Laurent A.G., 1963. Lognormal distribution and the translation method : description and estimation problems. J. Americ. Statist. Assoc., 58, 231-235.

Laurec A., A. Fonteneau, 1979. Estimation de l'abondance d'une classe d'âge. Utilisation des C.P.U.E. de plusieurs engins, en différentes zones et saisons. Rec. doc. scient. CICTA, 8, 79-100.

Laurec A., J.Y. Le Gall, 1975. De-seasonalising of the abundance index of species. Application to the albacore (*Thunnus alalunga*) monthly catch per unit of effort (CPUE) by the Atlantic Japanese longline fishery. Bull. Far. Seas res. lab., 12, 145-169.

Laurec A., J.C. Le Guen, 1981. Dynamique des populations marines exploitées. Tome 1 : concepts et modèles. Rapports Scientifiques et Techniques N° 45. Publications du CNEOX.

Laurec A., B. Mesnil, 1985. Rendements par recrue et analyse de cohortes de Jones. Etude de sensibilité. Cons. Int. Explor. Mer, CM 1985/G:34, 17p.

Laurec A., 1986. Les méthodes delta en halieutique. Evaluation des sensibilités. Approximation des biais et des variances à l'aide des développements limités. Rapports internes de la Direction des Ressources Vivantes de l'Ifremer, DRV-86.002-RH, 64p.

Laurec A., B. Mesnil, 1987. Analytical investigations of errors in mortality rates estimated from length distributions of catches. In : Length based method in fisheries research, edited by D. Pauly et G.R. Morgan, ICLARM Conf. Proc.,13, 239-281.

Laurec A., J.B. Perodou, 1987. Regards statistiques et informatiques sur l'analyse des puissances de pêche et des abondances apparentes. C.I.E.M., CM 1987/D9. 27p.

Laurec A., L. Santarelli-Chaurand, 1986. Analyse rectifiée de pseudo-cohortes (analyse des cohortes à partir de structures démographiques des captures ; correction des variations d'effort et/ou de recrutement). Rapport interne IFREMER.

Lebart L., A. Morineau, M. Tabard, 1977. Techniques de la description statistique. Méthodes et logiciels pour l'analyse des grands tableaux. Dunod, Paris, 351p.

Leis J.M., 1987. Review of the early life history of tropical groupers (Serranidae) and snappers (Lutjanidae). In : Tropical snappers and groupers : biology and fisheries management, edited by J.J. Polovina et S. Ralston. Westview Press, Boulder and London, 659 p.

Le Goff P.Y., 1990. Analyse économique de la pêche au vivaneau. Association pour l'organisation du crédit maritime mutuel en Guyane, 31p.

- Le Guen J.C., 1976. Utilisation des otolithes pour la lecture de l'âge de scianidés intertropicaux. Marques saisonnières et journalières. Cah. ORSTOM, sér. Océanogr., 14, n°4, 331-338.
- Lemoine M., J. Rose, 1977. Possibilité d'ostréiculture en Guyane. Sciences et Pêche, 272, 15-30.
- Lima F.R., 1965. Crescimento do pargo (*Lutjanus aya*, Bloch, 1795) no Nordeste Brasileiro. Bol. Est. Pesca, Recife, 5(2), 33-42.
- Mesnil. B., 1980. Théorie et pratique de l'analyse de cohortes. Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 44(2) : 119-155.
- Manooch C.S., 1987. Age and growth of snappers and groupers. In : Tropical snappers and groupers : biology and fisheries management, edited by J.J. Polovina et S. Ralston. Westview press, Boulder and London, 659p.
- Moguedet P., 1988. Approche de la dynamique de stocks accessoires : le cas des lingues (*Molva spp.*) exploitées par la flottille industrielle lorientaise. Thèse de doctorat. Université de Lille Flandre-Artois, 301p.
- Morrison D. F., 1976. Multivariate statistical methods. McGraw-Hill International editions. Probability and statistics series. 415 p.
- Mota Ales M.I., 1971. Sobre a maturação sexual do pargo *lutjanus purpureus* poey, do nordeste brasileiro. Arq. Ciên. Mar., 11(2) : 153-158.
- Menezes M.F., T.C.V. Geistera, 1974. Idade e crescimento do pargo, *lutjanus purpureus* Poey, do norte e nordeste do brasil. Arq. Ciên. Mar., 14(2), 81-85.
- Moran D., 1988. Species Profiles : life histories and environment requirements of coastal fishes and invertebrates (Gulf of mexico) - red snapper - U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep., 19 p.
- Pannella G., 1971. Fish otoliths : Daily growth layers and periodical patterns, Science, 173, 1124-1126.

Pannella G., 1974. Otolith growth patterns : an aid in age determination in temperate and tropical fishes. In : the ageing of fish, edited by T.B. Baguenal. Old Working, Surrey, England, 28-39.

Pannella G., 1980. Growth patterns in fish sagittae. In : skeletal growth of aquatic organisms : biological record of environmental change, edited by D.C. Rhoads et R.A. Lutz, Plenum Press, New York, 519-560.

Parrish J.D., 1987. The trophic biology of snappers and groupers. In : tropical snappers and groupers : biology and fisheries management, edited by J.J. Polovina et S. Ralston. Westview Press, Boulder and London, 405-464.

Pella J.J., P.K. Tomlinson, 1969. A generalized stock production model. Bull. IATTC, 13, 419-496.

Pelletier D., 1990. Sensitivity and variance estimators for virtual population analysis and the equilibrium yield per recruit model. Aquat. living Resour., 3, 1-12.

Pérodou J.B., B.Fontaine, 1985. Contribution à l'analyse des stocks de lieu noir (*Pollachius virens*) : désaisonnalisation des séries mensuelles et sectorielles des captures par unité d'effort (CPUE). C.I.E.M. CM 1985/D12, 18p.

Pérodou J.B., 1988. Analyse des puissances de pêche des chalutiers et des abondances apparentes des espèces de la pêcherie démersale de mer celtique. Rapports internes de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER 88.004- RH/Lorient.

Pérodou J.B., E. Prévost, 1989. The fishery of the southern red snapper (*Lutjanus purpureus*) in French Guiana : analysis and processing of fishery statistics. Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela Univ. Oriente, 28, 253-261.

Petersen C.G.J., 1892. Eine Methode zur Bestimmung des Alters und des Wuchses der Fische. Mitt. Dtsch. seefischcherei Ver. 11 : 226-235.

Poinsard F., J.P. Troadec, 1966. Détermination de l'âge par la lecture des otolithes chez deux espèces de Scianidae ouest africain (*Pseudotolithus senegalensis* et *Pseudotolithus typus*) J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer, 30 (3), 291-307.

- Powell D.G., 1979. Estimation of mortality and growth parameters from the length frequency of a catch. Rapp. P.V. Reün. CIEM, 175, p 167-169.
- Prévost E., Tous P, Dintheer C., Delpech J.P., Lhomme F., Rose J., 1989. Ressources en vivaneaux du plateau de la Guyane française. IFREMER, Campagnes océanographiques françaises, 9, 118p.
- Prost M.T., 1990. Les côtes des Guyanes. ORSTOM, Centre de Cayenne, programme environnement côtier, série géomorphologie-sédimentologie, 211p.
- Ralston S., G.T. Miyamoto, 1981. Estimation of the age of a tropical reef fish using the density of daily growth increments. Proceedings of the Fourth International Coral Reef Symposium, vol.1, Manila.
- Ralston S., 1990. Size selection of snappers (Lutjanidae) by hook and line gear. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 47, 696-700.
- Rivas L.R., 1966. Review of the *Lutjanus campechanus* Complex of Red Snappers. Quart. Jour. Florida Acad. Sci. 29(2),117-136.
- Robson D.S., 1966. Estimation of the relative fishing power of individual ships. ICNAF Res. Bull. N° 3, 14p.
- Scherrer B., 1983. Techniques de sondage en écologie. In : Stratégies d'échantillonnage en écologie, edited by S. Frontier. Masson, 63-214.
- Sims S.E., 1985. Selected computer programs in FORTRAN for fish stock assessment. F.A.O. Fish. tech. pap. n° 259, 183p.
- Tomassone R., E. Lesquoy, C. Millier. 1983. La régression. Nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique. Actualités scientifiques et agronomiques de l'INRA. Masson. 180p.
- Thompson W.F., F.H. Bell, 1934. Biological statistics of the Pacific halibut fishery. Effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear; Rep. Int. fish. (Pacific halibut), Comm.8, 49p.

Tous P., 1988. Perspectives d'exploitation d'espèces nouvelles : la pêche au vivaneau. Rapport final de la convention Ifremer/Région Guyane. n° 86/1210446, 19p.

Ultang O., 1980. Factors affecting the reaction of pelagic fish stocks to exploitation and requiring a new approach to assessment and management. in Rapp. P.-V. Réun. Cons. int. Explor. Mer, 177 : 489-504.

Vendeville P., 1984. La pêcherie de crevettes tropicales de Guyane française. Le problème des captures accessoires : estimation et implications. Thèse de docteur-ingénieur de l'Institut National Polytechnique de Toulouse, 293p.

Ximenes C.M.O., A.A. Fonteles-Filho, 1988. Estudo da idade e crescimento do pargo, *Lutjanus purpureus* poey (pisces : Lutjanidae), no norte e nordeste do Brasil. Arq. Ciên. Mar, 27 : 69-81.

ANNEXES

ANNEXE 1 :

Listing du programme informatique PUIS3

```

      program p4
c
c
c
c
c
      common/r6/c(4,4153)
      common/r1/ab(200),puis(100),b(200)
      common/r2/ws(100),wb(100),wy(10),wby(10),wbs(100)
      common/r3/vs(100),vb(100),vy(10)
      common/r4/wsy(60,60),a(60,60)
      common/r5/G22(100),G11(100)
      common/r7/ H(60,60),E12(60,60)
c
      character*20 ztitre,zsstitre,xficentr,xficsort
      dimension tot(26000)
      common lec,imp
      ntot=26000
      lec=11
      imp=12
c
      write(*,*) 'fichier d"entree ?'
      read(*,'(a)') xficentr
      write (*,*) 'fichier de sortie ?'
      read (*,'(a)') xficsort
      open (lec,file=xficentr,status='old',form='formatted')
      open (imp,file=xficsort,status='new',form='formatted')
c
120  read(lec,1) ztitre,zsstitre
      read(lec,2) itri,kedn,kers,khir
c
      write(imp,2) itri,kedn,kers,khiq,khip,khid,khir
c
c
c
      iadr1=1
      call lectur(no)
      nmax=no*4
      if(nmax.lt.ntot) goto 2000
      write (imp,51)
      write (imp,59) nmax,ntot
      stop
2000 continue
c
c
      iadr2=iadr1 +4*no
      ktri=itri + 1
      goto (2100,2200) ktri
2100 continue
      call denom1(no,ny,tot(iadr2))
      goto 2500
2200 continue
      write(imp,'(a)') 'dibabl'
      call dibabl(no,ny,tot(iadr1),tot(iadr2))
2500 continue
      nmax=iadr2+ny-1
      if (nmax .lt. ntot) goto 3000
      write(imp,52)
      write(imp,59) nmax,ntot
3000 continue
c
c
c
      iadr3=iadr2+ny
      goto(3100,3200)ktri
3100 continue

```

```

        call denom2(no,ns,tot(iadr3))
        goto 3500
3200 continue
        write(imp,*) 'dibab2'
        call dibab2(no,ns,tot(iadr1),tot(iadr3))
3500 continue
        nmax=iadr3 + ns-1
        if (nmax.lt.ntot) goto 4000
        write (imp,53)
        write (imp,59) nmax,ntot
4000 continue
        iadr4 = iadr3 + ns
        goto (4100,4200) ktri
4100 continue
        call denom3(no,nb,tot(iadr4))
        goto 4500
4200 continue
        write(imp,'(a)') 'dibab3'
        call dibab3(no,nb,tot(iadr1),tot(iadr4))
4500 continue
        nmax=iadr4 + nb-1
        if (nmax.lt.ntot) goto 4600
        write (imp,535)
        write (imp,59)nmax,ntot
c
c
c
4600 continue
        write(imp,61) ztitre,zsstitre
        write(imp,62) no,ny,ns,nb
        if (kedn.ne.0) then
            call edit(no,ny,ns,nb,tot(iadr2),
&tot(iadr3),tot(iadr4))
            endif
            call tsfo(no,ny,ns,nb,tot(iadr2),tot(iadr3)
&,tot(iadr4))
c
c   Constitution du système linéaire
c
        if (ns-nb) 5400,5100,5100
5100 continue
c   Cas où le nombre de bateaux est inférieur au nombre de strates
c   et d'années
        write(*,*) ny,ns,nb
        i3= iadr4+nb
        i4=i3+ny+ns-1
        i5=i4+nb
        i6=i5+ns
        i7=i6+nb
        i8=i7+ny
        i9=i8+ny
        i10=i9+ns
        i11=i10+ns*ny
        i12=i11+(ns+ny-1)*(ns+ny-1)
        i13=i12+ns+ny-1
        i14=i13+ns
        i15=i14+nb
        nmax=i15 + ny-1
        write(*,*) nmax,ny,ns,nb
        if(nmax.le.ntot) goto 5800
        write (imp,54)
        write (imp,59) nmax,ntot
        stop
c

```

```

c     mad eo
c
5800 continue
      ndim=ns+ny-1
      call vivleB(ndim,nb,ns,ny,no,tot(iadr2),tot(iadr3),
&tot(iadr4))
c     &tot(i9),tot(i10),tot(i11),tot(i12),tot(i13),tot(i14),tot(i15))
      irs=i7+ny
      irb=irs+ns
      iry=irb+nb
      call residB(no,ny,ns,nb,tot(iadr2),tot(iadr3),
&tot(iadr4))
c     &tot(irs),tot(irb),tot(iry))
5200 if (khir .eq.0) goto 6000
      write (imp,82)
      call distri(tot(i3),tot(iadr3),ns)
      write (imp,83)
      call distri(tot(i4),tot(iadr4),nb)
      write (imp,81)
      call distri(tot(i3+ns),tot(iadr2),ny)
      write(imp,84)
c     call bistri(tot(iadr1),tot(iadr3),tot(iadr4),tot(iadr2),no)
      goto 6000
5400 continue
c     Cas où le nombre de bateaux est supérieur au nombre de strates
c     et d'années.
      i3=iadr4 + nb
      i4=i3+ny+nb
      i5=i4+ns
      i6=i5+nb
      i7=i6+ns
      i8=i7+ny
      i9=i8+ny
      i10=i9+nb
      i11=i10+nb*ny
      i12=i11+(nb+ny-1)*(nb+ny-1)
      i13=i12+nb+ny-1
      i14=i13+nb
      i15=i14 +ns
      nmax=i15 +ny-1
      ndim=nb+ny-1
      if (nmax.le.ntot) goto 5900
      write(imp,54)
      write (imp,59) nmax,ntot
      stop

c
c     mad eo
c
5900 continue
      ndim=nb+ny-1
      call vivleS(ndim,nb,ns,ny,no,tot(iadr1),tot(iadr2),tot(iadr3),
&tot(iadr4),tot(i3),tot(i4),tot(i5),tot(i6),tot(i7),tot(i8),
&tot(i9),tot(i10),tot(i11),tot(i12),tot(i13),tot(i14),tot(i15))
      irs=i7+ny
      irb=irs+ns
      iry=irb+nb
      call residS(no,ny,ns,nb,tot(iadr1),tot(iadr2),tot(iadr3),
&tot(iadr4),tot(i3),tot(i4),tot(i5),tot(i6),tot(i7),
&tot(irs),tot(irb),tot(iry))
      goto 5200
6000 continue
c
      if(kers.eq.0) goto 7000
      write(imp,71)

```

```

        call edit(no,ny,ns,nb,tot(iadr2),tot(iadr3),
&tot(iadr4))
c
c      call bistri(tot(iadr3),tot(iadr4),tot(iadr2),no)
c
7000 continue
      write(imp,*) 'traitement terminé. '
      1 format(a)
      2 format(9i4)
      51 format(//,'des la lecture ')
      52 format(//,'des le tri sur les annees ou leur denombrement')
      53 format(//,'des le tri sur les strates ou leur denombrement')
      535 format(//,'des le tri sur les bateaux ou leur denombrement')
      54 format(//,' au niveau de la constitution et de la resolution ',
&'du systeme')
      59 format('il apparait un probleme de dimensionnement , car :',//,
&'nmax =',i5,' et ntot = ',i5,
&' arrêts des calculs ' )
c
      61 format(1h1,'      estimation par ajustement d'un modele line'
&,'aire des puissances de peche et abondances apparentes'//
&,' *****'//
&,' *****'//
&,' *****'//
&,' *****'//
&,'      methode de robson'//
&,'      ++++++'//,(10x,20a4,//)
      62 format(' le nombre total d"observations est egal a ',i5,//
&,' pour',i4,'annees',i4,'strates spatio-temporelles,et'
&,'bateaux',//)
c
      71 format(//'      edition des residus individuels',//
&'      ++++++'//)
c
      81 format(///'distribution des indices annuels '///)
      82 format(///'distribution des abondances apparentes '///)
      83 format(///'distribution des puissances individuelles'///)
      84 format(///'distribution des residus logarithmiques'///)
      stop
      end
c
c#####
      subroutine lectur(no)
c#####
      common/r6/c(4,4153)
      character *80 zfmt
      common lec,imp
      read(lec,1) no,zfmt
      do 1000 j=1,no
      read(lec,zfmt) (c(i,j),i=1,4)
c      write(*,*)(c(i,j),i=1,4)
      1000 continue
      1 format(i4,a)
c      2 format(4f5.0)
      end
c
c#####
      subroutine dibabl(no,ny,c,an)
c#####
      dimension c(4,1),an(1),key(3)
      common lec,imp
      key(1)=-3
      call sortrc(key,1,4,no,c)
c      do 31 j=1,no

```

```

C      write (imp,2) (c(i,j),i=1,4)
C 31 continue
C      2 format(4f5.0)
      ny=1
      atemp=c(3,1)
      an(1)=atemp
      c(3,1)=1.
      do 25 i=2,no
      if (c(3,i) - atemp) 21,24,23
21 write(imp,51)
      stop
23 ny=ny + 1
      atemp = c(3,i)
      an(ny)= atemp
24 c(3,i) = ny
25 continue

C
C
C      do 41 j=1,no
C
C 41 continue
51 format(///'anomalie dans le tri sur les annees'/
&/,'arret du programme')
      end

C
C#####
C
      subroutine dibab2(no,ns,c,ad)
C#####
      dimension c(4,1),ad(1),key(3)
      common lec,imp
      key(1) = -2
      key(2) = -3
      call sortrc (key,2,4,no,c)
C      do 31 j=1,no
C      write (imp,2) (c(i,j),i=1,4)
C 31 continue
C      2 format(4f5.0)
      ns=1
      atemp = c(2,1)
      ad(1)=atemp
      c(2,1)=1.
      do 30 i=2,no
      if (c(2,i) - atemp) 26,29,27
26 write (imp,51)
      stop
27 ns=ns + 1
      atemp = c(2,i)
      ad(ns)=atemp
29 c(2,i)=ns
30 continue
C      do 41 j=1,no
C      write(imp,2) (c(i,j),i=1,4)
C 41 continue
51 format(///'anomalie dans le tri sur les strates')
      end

C
C
C#####
      subroutine dibab3 (no,nb,c,bn)
C#####
      dimension c(4,1),bn(1),key(3)
      common lec,imp
      key(1)=-1

```

```

        key(2)=-2
        key(3)=-3
        call sortrc(key,3,4,no,c)
C
C
C 31 continue
C 2 format(4f5.0)
    nb=1
    atemp = c(1,1)
    bn(1) = atemp
    c(1,1) = 1.
    do 30 i=2,no
    if (c(1,i) - atemp) 26,29,27
26 write (imp,51)
    stop
27 nb=nb+1
    atemp=c(1,i)
    bn(nb)=atemp
29 c(1,i) = nb
30 continue
C    do 41 j=1,no
C    write(imp,2) (c(i,j),i=1,4)
C 41 continue
    51 format('anomalie dans le tri sur les bateaux ' )
    end
C
C#####
C
    subroutine sortrc(k,i2,m2,n,a)
C
C#####
C
    dimension k(i2)
    dimension a(4,n)
    common lec,imp
    if (m2) 300,300,5
5 if (n) 300,300,6
6 do 7 i=1,i2
    if (k(i)) 7,301,7
7 continue
    n3=n
    n1=n
11 n1=n1/2
    if(n1-1)200,12,12
12 l1=1
13 i=1
    k1=iabs(k(i))
    l2=l1+n1
    if(l2-n3)14,14,11
14 if (k(i)) 16,301,18
16 if (a(k1,l1)-a(k1,l2))50,51,52
18 if (a(k1,l1)-a(k1,l2))52,51,50
50 l1=l1+1
    goto 13
51 i=i+1
    if (i2-i)50,70,70
70 k1=iabs(k(i))
    goto 14
52 do 500 m1=1,m2
    btemp=a(m1,l1)
    a(m1,l1)=a(m1,l2)
500 a(m1,l2)=btemp
    l1=l1
30 if(l11-n1)50,50,31

```

```

31 l33=l11-n1
    l22=l11
    l11=l33
    i=1
    k1=iabs(k(1))
32 if (k(i))34,301,35
34 if (a(k1,l11)-a(k1,l22))50,57,58
35 if (a(k1,l11)-a(k1,l22))58,57,50
58 do 600 m1=1,m2
    btemp=a(m1,l11)
    a(m1,l11)=a(m1,l22)
600 a(m1,l22)=btemp
    if(l11-n1)50,50,37
37 l11=l11-n1
    l22=l11+n1
    i=1
    k1=iabs(k(i))
    goto 32
57 i=i+1
    if(i2-i)50,33,33
33 k1=iabs(k(i))
    goto 32
200 return
300 write (imp,995)
    stop
301 write (imp,996)
    stop
995 format('1','erreur')
996 format('1','k=0 erreur')
end

c
c#####
c      subroutine denom1(no,ny,an)
c#####
c      common/r6/c(4,4153)
c      dimension an(1)
c      do 500 j=1,no
c      write(*,*) (c(i,j),i=1,4)
c 500 continue
c      ny=1
c      an(ny)=c(3,1)
c      c(3,1)=ny
c      do 2000 i=2,no
c      do 1000 j=1,ny
c      if (c(3,i)-an(j)) 1000,1500,1000
1000 continue
c      ny=ny+1
c      an(ny)=c(3,i)
c      c(3,i)=ny
c      write(*,*) an(ny) ,c(1,i),c(2,i),c(3,i),c(4,i)
c      goto 2000
1500 continue
c      c(3,i)=j
c      write(*,*) an(ny) ,c(1,i),c(2,i),c(3,i),c(4,i)
2000 continue
c      end

c
c#####
c      subroutine denom2(no,ns,ad)
c#####
c      dimension ad(1)
c      common /r6/c(4,4153)
c      ns=1
c      ad(ns)=c(2,1)

```

```

        c(2,1)=ns
        do 2000 i=2,no
        do 1000 j=1,ns
        if (c(2,i)-ad(j)) 1000,1500,1000
1000 continue
        ns=ns+1
        ad(ns)=c(2,i)
        c(2,i)=ns
        goto 2000
1500 continue
        c(2,i)=j
2000 continue
        end
c
c#####
      subroutine denom3(no,nb,bn)
c#####
      common/r6/c(4,4153)
      dimension bn(1)
      nb=1
      bn(nb)= c(1,1)
      c(1,1)=nb
      do 2000 i=2,no
      do 1000 j=1,nb
      if (c(1,i)-bn(j)) 1000,1500,1000
1000 continue
      nb=nb+1
      bn(nb)=c(1,i)
      c(1,i)=nb
      goto 2000
1500 continue
      c(1,i)=j
2000 continue
      end
c
c#####"
      subroutine edit(no,ny,ns,nb,an,ad,bn)
c#####
      common/r6/c(4,4153)
      dimension an(1),ad(1),bn(1)
      common lec,imp
      write (imp,51)
      iter=no-2
      i=1
1000 continue
      ib1=int(c(1,i))
      ib2=int(c(1,i+1))
      ib3=int(c(1,i+2))
      iad1=int(c(2,i))
      iad2=int(c(2,i+1))
      iad3=int(c(2,i+2))
      ian1=int(c(3,i))
      ian2=int(c(3,i+1))
      ian3=int(c(3,i+2))
      write(imp,52) bn(ib1),ad(iad1),an(ian1),c(4,i)
      &,bn(ib2),ad(iad2),an(ian2),c(4,i+1),
      &bn(ib3),ad(iad3),an(ian3),c(4,i+2)
      i=i+3
      if (i-iter) 1000,1000,2000
2000 continue
      ires=no-i+1
      if(ires-1) 160,146,147
c
c

```

```

146 ib1=int(c(1,no))
    iad1=int(c(2,no))
    ian1=int(c(3,no))
    write(imp,53) bn(ib1),ad(iad1),an(ian1),c(4,no)
    goto 160
c
c
147 itemp=no-1
    ib1=int(c(1,itemp))
    ib2=int(c(1,no))
    iad1=int(c(2,itemp))
    iad2=int(c(2,no))
    ian1=int(c(3,itemp))
    ian2=int(c(3,no))
    write(imp,54) bn(ib1),ad(iad1),an(ian1),c(4,itemp),
    &bn(ib2),ad(iad2),an(ian2),c(4,no)
c
c
160 continue
c
c
51 format(//,'          recapitulation',///,
    &50x,' captures par bateau ,strate et annee',///// ,
    &3('bateau',4x,'strate',4x,'annee',4x,'cap.res','***',1x)///)
c
52 format(1x,3f8.0,f8.2,2('    ***',2x,3f8.0,f8.2))
53 format(1x,3f8.0,f8.2,'    ***')
54 format(1x,3f8.0,f8.2,'    ***',2x,3f8.0,f8.2,'    ***')
end
c#####
subroutine tsfo (no,ny,ns,nb,an,ad,bn)
c#####
common/r6/c(4,4153)
dimension an(1),ad(1),bn(1)
common lec,imp
do 1000 i=1,no
if(c(4,i)) 500,500,600
500 continue
ib=int(c(1,i))
is=int(c(2,i))
iy=int(c(3,i))
write(imp,51) i,is,ib,iy,c(4,i)
stop
c
c
mad eo
600 continue
c(4,i)=alog(c(4,i))
1000 continue
51 format('il apparait un probleme avec l"observation '
&,i5,/'qui correspond a la strate ',i4,'au bateau',i4,'et a
&l"annee',i4,/'car la capture est egale a',e10.3)
end
c
c#####
subroutine vivleB(ndim,nb,ns,ny,no,codan,codst,codba)
c
&puis,ws,wb,wy,wby,wbs,wsy,a,b,vs,vb,vy)
c#####
common/r6/c(4,4153)
common/r1/ab(200),puis(100),b(200)
common/r2/ws(100),wb(100),wy(10),wby(10),wbs(100)
common/r3/vs(100),vb(100),vy(10)
common/r4/ wsy(60,60),a(60,60)
common/r7/ H(60,60),E12(60,60)
dimension codst(ns),codba(nb),codan(ny)

```

```

c      dimension a(58,58)
c      dimension wsy(55,4)
c
c      common lec,imp
c      data eps/.000001/
c      write(*,*) 'vivreB'
c I.1 Remplissage des tableaux préliminaires
c
c      do 1000 ib = 1,nb
c      vb(ib) = 0.
c      wb(ib)=0.
1000 continue
c      do 1100 is=1,ns
c      vs(is)=0.
c      ws(is)=0.
1100 continue
c      do 1150 iy=1,ny
c      vy(iy)=0.
c      wy(iy)=0.
1150 continue
c      do 1180 is=1,ns
c      do 1180 iy=1,ny
c      wsy(is,iy)=0.
1180 continue
c      do 1200 io=1,no
c      ib=int(c(1,io))
c      is=int(c(2,io))
c      iy=int(c(3,io))
c      wb(ib)=wb(ib)+1.
c      ws(is)=ws(is)+1.
c      wy(iy)=wy(iy)+1.
c      wsy(is,iy)=wsy(is,iy)+1.
c      vb(ib)=vb(ib)+c(4,io)
c      vs(is)=vs(is)+c(4,io)
c      vy(iy)=vy(iy)+c(4,io)
1200 continue
c
c
c
c
c      I.2 initialisation
c
c
c      do 2000 is2=1,ns-1
c      b(is2)=vs(is2+1)
c      do 2000 is1=1,is2
c      a(is1,is2)=0.
2000 continue
c      do 2600 iy2=ns,ns+ny-1
c      b(iy2)=vy(iy2-ns+1)
c      do 2600 iy1=ns,iy2
c      a(iy1,iy2)=0.
2600 continue
c
c      I.3 Remplissage du système linéaire
c
c
c
c      do 4000 ib=2,nb
c      do 3000 is=1,ns
c      wbs(is)=0.
3000 continue
c      do 3005 iy=1,ny
c      wby(iy)=0.
3005 continue

```

```

do 3100 io=1,no
  ibo=int(c(1,io))
  if(ibo-ib)3100,3010,3100
3010 continue
  is=int(c(2,io))
  wbs(is)=wbs(is)+1.
  iy=int(c(3,io))
  wby(iy)=wby(iy)+1.
3100 continue
c
  DO 3140 IS = 1,NS-1
  E12(IB,IS) = WBS(is+1)
3140 continue
  Do 3150 iy=ns,ns+ny-1
  E12(ib,iy) = wbs(iy-(NS-1))
3150 continue
c c
c c
do 3200 is2=1,ns-1
  b(is2)=b(is2)-wbs(is2+1)*vb(ib)/wb(ib)
do 3200 is1=1,is2
  a(is1,is2)=a(is1,is2)-wbs(is1+1)*wbs(is2+1)/wb(ib)
3200 continue
c
do 3300 iy2=ns,ns+ny-1
do 3300 is1=1,ns-1
  a(is1,iy2)=a(is1,iy2)-wbs(is1+1)*wby(iy2-ns+1)/wb(ib)
3300 continue
c
do 3400 iy2=ns,ns+ny-1
  b(iy2)=b(iy2)-wby(iy2-ns+1)*vb(ib)/wb(ib)
do 3400 iy1=ns,iy2
  a(iy1,iy2)=a(iy1,iy2)-wby(iy1-ns+1)*wby(iy2-ns+1)/wb(ib)
3400 continue
4000 continue
c
c
  a(1,1)=a(1,1)+ws(2)
do 4200 is1=2,ns-1
do 4100 is2=1,is1
  a(is1,is2)=a(is2,is1)
4100 continue
  a(is1,is1)=a(is1,is1)+ws(is1+1)
4200 continue
  a(ns,ns)=a(ns,ns)+wy(1)
do 4400 iy1=1+ns,ns+ny-1
do 4300 iy2=ns,iy1-1
  a(iy1,iy2)=a(iy2,iy1)
4300 continue
  a(iy1,iy1)=a(iy1,iy1)+wy(iy1-ns+1)
4400 continue
do 4600 iy2=ns,ny+ns-1
do 4600 is1=1,ns-1
  a(is1,iy2)=a(is1,iy2)+wsy(is1+1,iy2-ns+1)
  a(iy2,is1)=a(is1,iy2)
4600 continue
c
c
do 4700 i1=1,ns+ny-1
do 4700 i2=1,ns+ny-1
  H(i1,i2) = A(i1,i2)
4700 continue
c
do 8000 i=1,60
c
  write(imp,99999) i,(a(i,j),j=1,60)

```

```

c99999 format('ligne',i4,17(f7.2))
c 8000 continue
      call resol(a,b,ns+ny-1,kod,eps)
      write (*,*) 'je suis passé à Resol'
      if(kod.eq.0) goto 6000
      write(imp,50)
      stop
6000  continue
      write(*,*) 'je rentre dans invmat'
      M = NS + NY - 1
      write(*,*) M
c     call invmat(H,M)
      write(*,*) 'je suis passé à invmat'
      abm = 0.
      do 6100 i=1,ns+ny-1
      ab(i+1) = b(i)
c
6100  continue
      do 6110 i= 2,ns
      abm= abm + ab(i)
6110  continue
      abm=abm/float(ns)
c
c     II. passage aux puissances de pêche
c
      puism=0.
      puis(1)=0.
      do 6300 ib=2,nb
      puis(ib)=vb(ib)
      do 6200 io=1,no
      ibo=c(1,io)
      if (ibo-ib) 6200,6190,6200
6190  continue
      is=int(c(2,io))
      iy=int(c(3,io)+ns)
      puis(ib) = puis(ib)-ab(is)-ab(iy)
6200  continue
      puis(ib)= puis(ib)/wb(ib)
      puism=puism+puis(ib)
6300  continue
      puism=puism/float(nb)
c     write(imp,*) puism,abm
c
c
c     edition provisoire
c
      ab1=exp(ab(ns+1)+puism+abm)
      do 7100 iy=ns+1,ny+ns
      ab(iy)=ab(iy)+puism+abm
      abex=exp(ab(iy))
      abcor=abex/ab1
      write(imp,53) codan(iy-ns),wy(iy-ns),ab(iy),abex,abcor
7100  continue
      ab1=exp(abm)
      do 7200 is=1,ns
      ab(is)=ab(is)+abm
      abex=exp(ab(is))
      abcor=abex/ab1
      write(imp,55) codst(is),ws(is),ab(is),abex,abcor
7200  continue
      puismb=exp(puismb)
      do 7300 ib=1,nb
      puisex=exp(puis(ib))
      puis(ib)=puis(ib)-puism

```



```

c1240 continue
c 20 format(i4,2f10.3)
c 21 format(2i4,f10.3)
c
c
c I.2 initialisation
c
c
c do 2000 ib2=1,nb-1
c b(ib2)=vb(ib2+1)
c do 2000 ib1=1,ib2
c a(ib1,ib2)=0.
2000 continue
c do 2100 iy2=nb,nb+ny-1
c b(iy2)=vy(iy2-nb+1)
c do 2100 iy1=nb,iy2
c a(iy1,iy2)=0.
2100 continue
c
c I.3 Remplissage du système linéaire
c
c
c do 4000 is=2,ns
c do 3000 ib=1,nb
c wsb(ib)=0.
3000 continue
c do 3005 iy=1,ny
c wsy(iy)=0.
3005 continue
c do 3100 io=1,no
c iso=int(c(2,io))
c if(iso-is) 3100,3010,3100
3010 continue
c ib=int(c(1,io))
c wsb(ib)=wsb(ib)+1.
c iy=int(c(3,io))
c wsy(iy)=wsy(iy)+1.
3100 continue
c
c
c do 3110 ib=1,nb
c write(imp,21) is,ib,wsb(ib)
c3110 continue
c do 3120 iy=1,ny
c write(imp,21) is,iy,wsy(iy)
c3120 continue
c
c do 3200 ib2=1,nb-1
c b(ib2)=b(ib2)-wsb(ib2+1)*vs(is)/ws(is)
c write(imp,*) ib2,b(ib2)
c do 3200 ib1=1,ib2
c a(ib1,ib2)=a(ib1,ib2)-wsb(ib1+1)*wsb(ib2+1)/ws(is)
c write(imp,*) ib1,ib2,a(ib1,ib2)
3200 continue
c
c do 3300 iy2=nb,nb+ny-1
c do 3300 ib1=1,nb-1
c a(ib1,iy2)=a(ib1,iy2)-wsb(ib1+1)*wsy(iy2-nb+1)/ws(is)
c write(imp,*) ib1,iy2,a(ib1,iy2)
3300 continue
c
c do 3400 iy2=nb,nb+ny-1
c b(iy2)=b(iy2)-wsy(iy2-nb+1)*vs(is)/ws(is)
c write(imp,*) iy2,b(iy2)

```

```

do 3400 iy1=nb,iy2
a(iy1,iy2)=a(iy1,iy2)-wsy(iy1-nb+1)*wsy(iy2-nb+1)/ws(is)
c write(imp,*) iy1,iy2,a(iy1,iy2)
3400 continue
4000 continue
c
c
a(1,1)=a(1,1)+wb(2)
do 4200 ib1=2,nb-1
do 4100 ib2=1,ib1
a(ib1,ib2)=a(ib2,ib1)
4100 continue
a(ib1,ib1)=a(ib1,ib1)+wb(ib1+1)
4200 continue
a(nb,nb)=a(nb,nb)+wy(1)
do 4400 iy1=1+nb,nb+ny-1
do 4300 iy2=nb,iy1-1
a(iy1,iy2)=a(iy2,iy1)
4300 continue
a(iy1,iy1)=a(iy1,iy1)+wy(iy1-nb+1)
4400 continue
do 4600 iy2=nb,ny+nb-1
do 4600 ib1=1,nb-1
a(ib1,iy2)=a(ib1,iy2)+wby(ib1+1,iy2-nb+1)
a(iy2,ib1)=a(ib1,iy2)
4600 continue
c call sorver(a,nb+ny-1,nb+ny-1)
c write(imp,*) (b(i),i=1,nb+ny-1)
call resol(a,b,nb+ny-1,kod,eps)
if(kod.eq.0) goto 6000
write(imp,50)
stop
6000 continue
puism=0.
do 6100 i=1,nb+ny-1
ab(i+1) = b(i)
c write(imp,*) i+1,ab(i+1)
6100 continue
do 6110 i= 2,nb
puism=puism +ab(i)
6110 continue
puism=puism/float(nb)
c
c II. passage aux densites spatio-temporelles
c
abm=0.
abon(1)=0.
do 6300 is=2,ns
abon(is)=vs(is)
do 6200 io=1,no
iso=c(2,io)
if (iso-is) 6200,6190,6200
6190 continue
ib=int(c(1,io))
iy=int(c(3,io)+nb)
abon(is) = abon(is)-ab(ib)-ab(iy)
6200 continue
abon(is)=abon(is)/ws(is)
abm=abm+abon(is)
c write(imp,*) abon(is)
6300 continue
abm=abm/float(ns)
c write(imp,*) abm,puism
c

```

```

c   III. edition des résultats
c
      write(imp,51)
c   III.1 indices annuels
c
      write(imp,52)
      ab1=exp(ab(nb+1)+puism + abm )
      do 7100 iy=nb+1,ny+nb
      ab(iy)=ab(iy)+puism+ abm
      abex=exp(ab(iy))
      abcor=abex/ab1
      write(imp,53) codan(iy-nb),wy(iy-nb),ab(iy),abex,abcor
7100 continue
c
c   III.2 puissances de pêche
c
      write (imp,54)
      ab1=exp(puism)
      do 7200 ib=1,nb
      ab(ib)=ab(ib)+ puism
      abex=exp(ab(ib))
      abcor=abex/ab1
      write(imp,55) codba(ib),wb(ib),ab(ib),abex,abcor
7200 continue
c
c   III.3 densités spatiotemporelles
c
      write(imp,56)
      abmb=exp(abm)
      do 7300 is=1,ns
      abex=exp(abon(is))
      abon(is)=abon(is)-abm
      abrx=abex/abmb
      write(imp,57) codst(is),ws(is),abon(is),abex,abrx
7300 continue
c
c
50 format(' systeme singulier ,resolution impossible')
51 format(1h1,/,/, '      resultats de l"ajustement '/
&'      ++++++',/,
&'      ++++++',/,/)
52 format(///' indices annuels apparents '/,
&' -----'///,
&' code      * poids * indice      * indice ',
&' * indice '/
&' annee      * annee * logarithmique * brute
&'***** relative'
&'*****')
53 format(1x,f9.0,1x,(1h*,3x,f6.1,1x),2(1h*,2x,e10.3,3x),3h* ,f6.3)
54 format(/' puissances de pêche '/
&' -----'///,
&' code      * poids * puissance      * puissance ',
&' * puissance '/,
&' bateau      * bateau * logarithmique * brute % bat.1*',
&' brute % moy. '/
&'*****')
55 format(1x,f9.0,1x,4h* ,f6.1,1x,3h* ,e10.3,3x,2(3h* ,
&f6.3,7x))
56 format(/' abondance spt      '/
&' -----'///,
&' code      * poids * abondance      * abondance ',
&' * abondance'/,

```

```

&' strate * strate * logarithmique * brute % bat.1*',
&' brute % moy.'/
&' *****',
&'*****')
57 format(1x,f9.0,1x,4h* ,f6.1,1x,3h* ,e10.3,3x,2(3h* ,f6.3,7x))
C
C
C end
C
C #####
C
C SUBROUTINE RESOL(A,B,N,KOD,EPS)
C
C #####
C
C DIMENSION A(*),B(*)
C
C 1. A: TABLEAU MONODIMENSIONNE DANS LEQUEL ON RANGE EN COLONNES
C 1LA MATRICE A, CELLE-CI EST DETRUIE PAR L'EXECUTION DU PROGRAMME.
C 2. B: TABLEAU DE DIMENSION N DANS LEQUEL SONT RANGES INITIALEMENT
C 1LES VALEURS DU SECOND MEMBRE. APRES L'EXECUTION DU PROGRAMME,
C 2B CONTIENT LA SOLUTION DU PROBLEME.
C 3. N: DIMENSION DU SYSTEME (EGAL AU NOMBRE D'EQUATIONS ET AU
C 1NOMBRE DE VARIABLES).
C 4. KOD: CODE D'ERREUR.
C 1 KOD = 0 SOLUTION NORMALE.
C 2 KOD = 1 SYSTEME SINGULIER.
C 5. EPS: LIMITE AU-DESSOUS DE LAQUELLE UN PIVOT EST CONSIDERE
C 1COMME NUL.
C
C KOD=0
C JJ=-N
C DO 8 J=1,N
C JY=J+1
C JJ=JJ+N+1
C EMAX=0.
C IT=JJ-J
C DO 2 I=J,N
C IJ=IT+I
C IF( ABS(EMAX) - ABS(A(IJ)))1,2,2
C 1 EMAX=A(IJ)
C IND=I
C 2 CONTINUE
C IF( ABS(EMAX)-EPS) 3,3,4
C 3 KOD=1
C RETURN
C 4 II=J+N*(J-2)
C IT=IND-J
C DO 5 K=J,N
C II=II+N
C IJ=II+IT
C R=A(II)
C A(II)=A(IJ)
C A(IJ)=R
C A(II)=A(II)/EMAX
C 5 CONTINUE
C R=B(IND)
C B(IND)=B(J)
C B(J)=R/EMAX
C IF(J=N) 6,9,6
C 6 IO=N*(J-1)
C DO 8 IK=JY,N
C IKK=IO+IK
C IT=J-1K

```

```

DO 7 JK=JY,N
IKJ=N*(JK-1)+IK
JKK=IKJ+IT
7 A(IKJ)=A(IKJ)-A(IKK)*A(JKK)
8 B(IK)=B(IK)-B(J)*A(IKK)
C
9 N1=N-1
IT=N*N
DO 10 J=1,N1
IA=IT-J
IB=N-J
IC=N
DO 10 K=1,J
B(IB)=B(IB)-A(IA)*B(IC)
IA=IA-N
IC=IC-1
10 CONTINUE
RETURN
END
C
C#####
C
subroutine sorver(a,ni,nj)
C
C#####
C
dimension a(ni,nj)
common lec,imp
do 1000 i=1,ni
write(imp,52) i, (a(i,j),j=1,nj)
52 format(//'ligne',i3,17(f7.2))
1000 continue
end
C#####
subroutine residB(no,ny,ns,nb,codan,codst,codba)
C
&ab,puis,ws,wb,wy,vrs,vrb,vry)
C#####
C
dimension codan(1),codst(1),codba(1)
C
&,ws(1),wb(1),wy(1),vrs(1),vrb(1),vry(1)
common/r1/ab(200),puis(100),b(200)
common/r2/ws(100),wb(100),wy(10),wby(10),wbs(100)
common/r4/wsy(60,60),a(60,60)
common/r5/G22(100),G11(100)
common/r6/c(4,4153)
common/r7/H(60,60),E12(60,60)
common lec,imp
dimension r(60,60), rr(60,60)
C
xx=0.
do 100 i=1,ns+ny-1
G22(i)=0.
100 continue
do 200 ib=1,nb
G11(ib) = 0.
200 continue
C
do 1000 io=1,no
ib=int(c(1,io))
is=int(c(2,io))
iy=int(c(3,io))
res=c(4,io)-puis(ib)-ab(is)-ab(iy+ns)
xx=xx+res*res
c(4,io)=res

```

```

1000 continue
      sig2=xx/float(No-(Nb+Ns+Ny-2))
      sig=sqrt(sig2)
      do 2000 i=1,Ns+Ny-1
        G22(i)=sig2*H(i,i)
2000 continue
      do 3000 ib1=2,nb
        do 3100 i2=1,ns+ny-1
          x=0.
          do 3200 il=1,ns+ny-1
            x=x+E12(ib1,il)*H(il,i2)
3200 continue
          r(ib1,i2)=x
3100 continue
          do 3300 ib2=2,nb
            y=0.
            do 3400 i2=1,ns+ny-1
              y=y + r(ib1,i2)*E12(i2,ib2)
3400 continue
          rr(ib1,ib2)=Y
3300 continue
          G11(ib1) = (1/wb(ib1) + (1/(wb(ib1)*wb(ib1))))*rr(ib1,ib1))*sig2
3000 continue
C
C
c   III. edition des résultats
C
      write(imp,51)
c   III.1 indices annuels
C
      write(imp,52)
      ab1=(exp(ab(ns)+puism + abm ))*(1-G22(Ns)/2.)
      do 7100 iy=ns,ny+ns-1
        ab(iy)=ab(iy)+puism+ abm
        abex=exp(ab(iy))*(1-G22(iy)/2.)
        abcor=abex/ab1
      write(imp,53) codan(iy-ns+1),wy(iy-ns+1),ab(iy),abex,abcor
7100 continue
C
c   III.2 densites spatiotemporelles
C
      write (imp,54)
      ab1=exp(abm)
      do 7200 is=1,ns-1
        ab(is)=ab(is) + abm
        abex=(exp(ab(is)))*(1-G22(is)/2.)
        abcor=abex/ab1
      write(imp,55) codst(is),ws(is),ab(is),abex,abcor
7200 continue
C
c   III.3 puissance de pêche
C
      write(imp,56)
      puismb=exp(puism)
      do 7300 ib=1,nb
        puisex = exp(puis(ib))*(1-G11(IB)/2.)
        puis(ib)=puis(ib)-puism
        puisrx = puisex/puismb
      write(imp,57) codba(ib),wb(ib),puis(ib),puisex
7300 continue
C
C
50 format(' systeme singulier ,resolution impossible')
51 format(1h1,/,/, ' resultats de l"ajustement '/

```

```

&'      ++++++',/
&'      +++++',//)
52 format(///' indices annuels apparents '/
&' -----'//,
&' code      * poids * indice      * indice ',
&' * indice '/
&' annee     * annee * logarithmique * brute
&'***** relative'
&'*****')
53 format(1x,f9.0,1x,(1h*,3x,f6.1,1x),2(1h*,2x,e10.3,3x),3h* ,f7.3)
54 format('/' abondances apparentes '/
&' -----'//,
&' code      * poids * abondance      * abondance ',
&' * abondance '/,
&' strate    * strate * logarithmique * brute % bat.1*',
&' brute % moy. '/
&'*****')
55 format(1x,f9.0,1x,4h* ,f6.1,1x,3h* ,e10.3,3x,2(3h* ,
&f6.3,7x))
56 format('/' puissance de peche '/
&' -----'//,
&' code      * poids * puissance      * puissance ',
&' * puissance '/,
&' bateau    * bateau * logarithmique * brute % bat.1*',
&' brute % moy. '/
&'*****')
57 format(1x,f9.0,1x,4h* ,f6.1,1x,3h* ,e10.3,3x,2(3h* ,f6.3,7x))
c
c
c
c  edition des variances et ecartes-types
c
c  II.1 Resultats globaux
c
c      write (imp,61) sig,sig2
c
c  II.2 Resultats par strate
c
c      write(imp,62)
c      write(imp,64)
c      do 4000 is=1,ns-1
c      sig=sqrt(G22(is))
c      write(imp,65) codst(is),ws(is),G22(is),sig
4000 continue
c
c  Resultats par bateau
c
c      write(imp,63)
c      write(imp,64)
c      do 5000 ib=2,nb
c      sig=sqrt(G11(ib))
c      write(imp,65) codba(ib),wb(ib),G11(ib),sig
5000 continue
c
c  Resultats par annee
c
c      write(imp,66)
c      write(imp,64)
c      do 6000 iy=ns,Ns+Ny-1
c      sig=sqrt(G22(iy))

```

```

        write(imp,65) codan(iy-(Ns-1)),wy(iy-(Ns-1)),G22(iy),sig
6000 continue
61 format('//'      ETUDE DES RESIDUS '/'
&'      ++++++',//,
&'      variance des residus logarithmiques estimee a :',e10.3,
&/'      pour un ecart-type de ',e10.3)
62 format('///'    resultats par strate '//,
&'      ++++++=+++++')
63 format('///'    resultats par bateau '//,
&'      ++++++')
64 format('      CODE *      POIDS *      VARIANCE      *      ECART-TYPE',
&/'      *****')
65 format(1x,f9.0,1x,4h*      ,f6.1,1x,3h*      ,e10.3,3x,3h*      ,f6.3)
66 format('///'    RESULTATS PAR ANNEE '//,
&'      ++++++')
end
c#####
subroutine distri(x,cod,np)
c#####
dimension x(1),cod(1),nt(21)
common/r1/ab(200),puis(100),b(200)
common lec,imp
nint=20
c
c determination des extremes et de l'amplitude des classes
c
      xmax=-1.E+10
      xmin=1.E+10
      do 1000 j=1,np
      write(*,*) cod(j),x(j)
      aexp=exp(x(j))
      if (aexp-xmin) 1010,1100,1100
1010  xmin=aexp
      jmin=j
1100  continue
      if(aexp-xmax) 1000,1000,1020
1020  xmax=aexp
      jmax=j
1000  continue
c
      write(imp,51) xmin,x(jmin),cod(jmin),xmax,x(jmax),cod(jmax)
51 format(' valeur minimale',E10.3,' soit en logarithmes',E10.3,
&' pour le code',f10.0,/
&' valeur maximale',E10.3,' soit en logarithmes',E10.3,
&' pour le code ',f10.0,///,' histogramme des valeurs brutes '///)
c
c constitution de l'histogramme
c+++++
c
      do 2000 int=1,nint+1
      nt(int)=0
2000 continue
c
c
      amp=(xmax-xmin)/float(nint)
      write(imp,52) amp
52 format('//'    l'histogramme est bati avec un pas egal a ',f12.4)
      do 3000 j=1,np
      brut=exp(x(j))
      int=ifix((brut-xmin)/amp)+1
      nt(int)=nt(int)+1
3000 continue
c
      call histo(nt,21,1,0,20)

```

```

        return
    end

c
c#####
c      subroutine bistri(codst,codba,codan,np)
c#####
c      dimension codst(1),codba(1),nt(41),codan(1)
c      common/r6/c(4,4153)
c      common lec,imp
c      nint=40

c
c      Determiation des extremes et de l'amplitude des classes
c
c      xmin=1.E+10
c      xmax=-1.E+10
c      do 1000 j=1,np
c      if(c(4,j)-xmin) 1010,1100,1100
1010  xmin=c(4,j)
c      jmin=j
1100  continue
c      if(c(4,j)-xmax) 1000,1000,1020
1020  xmax=c(4,j)
c      jmax=j
1000  continue
c      imin=int(c(2,jmin))
c      stmin=codst(imin)
c      imin=int(c(1,jmin))
c      bamin=codba(imin)
c      imin=int(c(3,jmin))
c      anmin=codan(imin)
c      imax=int(c(2,jmax))
c      stmax=codst(imax)
c      imax=int(c(1,jmax))
c      bamax=codba(imax)
c      imax=int(c(3,jmax))
c      anmax=codan(imax)
c      write(imp,51) jmin,stmin,bamin,anmin,xmin,
c      &jmax,stmax,bamax,anmax,xmax

c
c      51 format(//'residus minimal pour l''observation',i5,
c      &'(le cas echeant apres tri)',
c      &' correspondant a la strate ',f10.0,'et au bateau ',f10.0,
c      &' et a l''annee',f10.0,/
c      &' valeur constatee (en logarithmes)',E10.3,//
c      &' residus maximal pour l''observation',i5,
c      &'(le cas echeant apres tri)',
c      &' correspondant a la strate',f10.0,'et au bateau ',f10.0,
c      &' et a l''annee',f10.0,/
c      &' valeur constatee (en logarithmes)',E10.3,
c      &'/' histogramme correspondant (sur les logarithmes)')//)

c
c      constitution de l'histogramme
c
c      do 2000 into=1,nint+1
c      nt(into)=0
2000  continue

c
c
c      amp=(xmax-xmin)/float(nint)
c      write(imp,52) amp
c      52 format(//' l''histogramme est bati avec un pas egal a ',f12.4)
c      do 3000 j=1,np
c      into=ifix((c(4,j)-xmin)/amp)+1
c      nt(into)=nt(into)+1

```

```

3000 continue
C
      call histo(nt,41,1,0,40)
C
      return
      end
C
C#####
      SUBROUTINE HISTO (NT,MAX,MIN,LMIN,LMAX)
C#####

C      DESSIN DES HISTOGRAMMES
C      *****
C      MAX EST LA CLASSE MAXIMALE
C      MIN EST LA CLASSE MINIMALE
C      NT(I) EST L'EFFECTIF DE LA CLASSE I
      common lec,imp
      CHARACTER*1 XPL,BL,XLET,XTIR,XI,XALP,XALPH,XAS
      DIMENSION XALP(120),XALPH(120)
      DIMENSION NT(1),NF(150),QF(150)
      DATA XPL,BL,XLET,XTIR,XI/'.',' ','H','-','I'/
      DATA XAS/'*'/
      do 3500 i=1,max
      write(imp,999) i,nt(i)
3500 continue
      999 format(2i8)
C
C CALCUL DE L ECHELLE
C *****
      KJ=0
      N=MAX-MIN+1
      MINI=((MIN-1)/5)*5
      L=MIN-MINI-1
      MAXI=((MAX+9)/5)*5
      DO 80 I=1,N
      80 NF(I)=NT(I+MIN-1)
      NMAX=0
      DO 11 I=1,N
      NMAX=MAX0(NMAX,NF(I))
      11 CONTINUE
      NQQ=50
      NSC=(NMAX+NQQ-1)/NQQ
      ISC=NSC
C
C RECHERCHE DU MAXIMUM DE L'HISTOGRAMME
C *****
      IMAX=((NMAX+(9*NSC))/5)*5
      ND=NSC/2
      103 IF (N-105) 54,54,55
      55 N1=N-105
      N=105
      MAXI=MINI+105
      201 NAQ=105
      GO TO 40
      54 N1=0
      IF(N-100) 200,200,201
      200 NAQ=((N+9)/5)*5
      40 KJ=KJ+1
C      WRITE(IMP,63) KJ
      WRITE(IMP,104)
      104 FORMAT(/,2(1H0/))
      IF (KJ-1) 9,10,9
      9 DO 8 I=1,N
      NF(I)=NF(I+105*(KJ-1))

```

```

      8 CONTINUE
C
C INITIALISATION
C*****
  10 DO 56 I=1,NAQ
      XALP(I)=XPL
  56 XALPH(I) =BL
      XALP(NAQ)=XI
      DO 74 I=5,NAQ,5
          XALPH(I)=XPL
  74 CONTINUE
      XALPH(NAQ)=XI
C
C MODIFICATIONS DE NF SUIVANT L'ECELLE
C *****
      DO 50 I=1,N
          QF(I)=FLOAT(NF(I)+ND)/REAL(NSC)
          IF (QF(I).GE.1..OR.QF(I).EQ.0.) THEN
              NF(I)=IFIX(QF(I))
              GOTO 50
          ENDIF
          QF(I)=FLOAT(NF(I))/REAL(NSC)
          NF(I)=0
  50 CONTINUE
      DO 51 I=5,50,5
          KK=55-I
          IF ((KK*NSC)-IMAX) 58,58,51
  58 DO 57 JA=1,N
          IF (NF(JA)-KK) 57,59,57
  59 XALPH(JA+L)=XLET
          XALP(JA+L)=XLET
  57 CONTINUE
          KI=KK*ISC
          WRITE(IMP,53)          KI,XPL,(XALP(JJ),JJ=1,NAQ)
          DO 64 J=2,5
              KB=56-I-J
              DO 60 JA=1,N
                  IF (NF(JA)-KB) 62,61,60
  61 XALPH(JA+L)=XLET
          XALP(JA+L)=XLET
          GO TO 60
  62 IF (KB.NE.1) GO TO 60
          IF (QF(JA).NE.0.) XALPH(JA+L)=XAS
  60 CONTINUE
          WRITE(IMP,52)          XI ,(XALPH(JJ),JJ=1,NAQ)
  64 CONTINUE
  51 CONTINUE
      DO 85 I=1,NAQ
          XALP(I)=XTIR
  85 CONTINUE
          WRITE (IMP,52) XTIR, (XALP(I),I=1,NAQ)
          LINT=5
          WRITE(IMP,65) (I,I=LMIN,LMAX+5,LINT)
          WRITE(IMP,73) NSC
          IF (N1) 100,100,101
  101 N=N1
          MINI=MAXI
          MAXI=MAXI+N
          MAXI=((MAXI+9)/5)*5
          GO TO 103
  100 RETURN
  52 FORMAT(11X,109A1)
  53 FORMAT(5X,I6,109A1)
  63 FORMAT(1H1,5(1H0/),10X,I2,25HE PARTIE DE L'HISTOGRAMME,/,1H0/)

```

```

65 FORMAT(1H ,6X,22I5)
73 FORMAT(/,2(1H0/),' VERTICALEMENT UN INTERVALLE = ',I4)
RETURN
END
subroutine residS(no,ny,ns,nb,c,codan,codst,codba,
&ab,abon,wb,ws,wy,vrs,vrb,vry)
c#####
c
dimension c(4,*),codan(*),codst(*),codba(*),ab(*),
& ws(*),wb(*),wy(*),vrs(*),vrb(*),vry(*),abon(*)
common lec,imp
c
xx=0.
do 100 is=1,ns
vrs(is)=0.
100 continue
do 200 ib=1,nb
vrb(ib)=0.
200 continue
do 300 iy=1,ny
vry(iy)=0.
300 continue
do 1000 io=1,no
ib=int(c(1,io))
is=int(c(2,io))
iy=int(c(3,io))
res=c(4,io)-abon(is)-ab(ib)-ab(iy+nb)
xx=xx+res*res
vrs(is)=vrs(is)+res*res
vrb(ib)=vrb(ib)+res*res
vry(iy)=vry(iy)+res*res
c(4,io)=res
1000 continue
sig2=xx/float(no-1)
sig=sqrt(sig2)
do 2000 is=1,ns
vrs(is)=vrs(is)/ws(is)
2000 continue
do 3000 ib=1,nb
vrb(ib)=vrb(ib)/wb(ib)
3000 continue
do 3100 iy=1,ny
vry(iy)=vry(iy)/wy(iy)
3100 continue
c
c edition des variances et ecart-types
c
c II.1 Resultats globaux
c
write (imp,51) sig2,sig
c
c II.2 Resultats par strate
c
write(imp,52)
write(imp,54)
do 4000 is=1,ns
sig=sqrt(vrs(is))
write(imp,55) codst(is),ws(is),vrs(is),sig
4000 continue
c
c Resultats par bateau
c
write(imp,53)
write(imp,54)

```

```

do 5000 ib=1,nb
sig=sqrt(vrb(ib))
write(imp,55)codba(ib),wb(ib),vrb(ib),sig
5000 continue
c
c Resultats par annee
c
write(imp,56)
write(imp,54)
do 6000 iy=1,ny
sig=sqrt(vry(iy))
write(imp,55) codan(iy),wy(iy),vry(iy),sig
6000 continue
51 format(//'      ETUDE DES RESIDUS '//
&'      ++++++',//,
&'      variance des residus logarithmiques estimee a :',e10.3,
&'      pour un ecart-type de ',e10.3)
52 format(///'      resultats par strate '//,
&'      ++++++=+++++',//)
53 format(///'      resultats par bateau '//,
&'      ++++++=+++++',//)
54 format('      CODE * POIDS * VARIANCE * ECART-TYPE',
&/',
&'      *****')
55 format(1x,f9.0,1x,4h*      ,f6.1,1x,3h*      ,e10.3,3x,3h*      ,f6.3)
56 format(///'      RESULTATS PAR ANNEE '//,
&'      ++++++=+++++',//)
end
c
c
c
c      subroutine invmat(a,n)
c
c
c programmathèque laboratoire de biométrie.
c U.A. CNRS 243 U.Claude Bernard Lyon 1
c 43, Bd. du 11 novembre 1918
c 69622 Villeurbanne Cedex
c
c Ce S.P. inverse la matrice A d'ordre N à l'aide de la
c méthode d'échange de Gauss Jourdan. A est détruite et
c remplacée par son inverse. IR(N) et IC(N) sont des vecteurs
c de travail. det = Déterminant de A
c
REAL A(N,N)
DIMENSION IR(100), IC(100)
CALL RAZV (IR,N)
CALL RAZV (IC,N)
write(*,*)'on continue 1'
DET = 1.
N1 = 0
DO 100 ID = 1,N
PIV = A(ID,ID)
IM = ID
JM = ID
DO 1 I = ID,N
DO 1 J = ID, N
IF (ABS(PIV).LT.ABS(A(I,J))) THEN
PIV = A(I,J)
IM =I
JM = J
ENDIF
CONTINUE
1 IF (ABS(PIV).LT..000001) THEN
DET = 0.

```

```

RETURN
ENDIF
IF (IM.NE.ID) THEN
DO 2 J = 1,N
CALL PERMUTXY (A(ID,J),A(IM,J))
2 CONTINUE
write(*,*) 'on continue 2'
N1 = N1 + 1
ENDIF
IR(ID) = IM
IF (JM.NE.ID) THEN
DO 3 I = 1,N
CALL PERMUTXY(A(I, ID),A(I,JM))
3 CONTINUE
write(*,*) 'on continue 3'
N1 = N1 + 1
ENDIF
IC(ID) = JM
DO 4 I = 1,N
AP = A(I, ID)/PIV
DO 4 J=1,N
IF (I.NE.ID.AND.J.NE.ID) A(I,J) = A(I,J) - AP*A(ID,J)
4 CONTINUE
DO 5 I = 1,N
A(I, ID) = A(I, ID)/PIV
5 CONTINUE
DO 6 J = 1,N
A(ID, J) = A(ID, J)/(-PIV)
6 CONTINUE
DET = DET*PIV
A(ID, ID) = 1.0/PIV
100 CONTINUE
IF (N1-2*(N1/2).GT.0) DET = -DET
DO 7 L = 1,N
K = N -L+1
IF (IR(K).NE.K) THEN
INT=IR(K)
DO 8 I = 1,N
CALL PERMUTXY (A(I,K),A(I,INT))
8 CONTINUE
write(*,*) 'on continue 5'
ENDIF
7 CONTINUE
DO 9 L = 1,N
K = N -L+1
IF (IC(K).NE.K) THEN
INT = IC(K)
DO 10 J = 1,N
CALL PERMUTXY (A(K,J),A(INT,J))
10 CONTINUE
ENDIF
9 CONTINUE
END

```

c

c

c SUBROUTINE PERMUTXY(X,Y)

c Ce S.P. permute les contenus de x et y

c

```

REAL X,Y
AUX = Y
Y = X
X = AUX

```

```
      END
C
C
      SUBROUTINE RAZV(VECT, LONG)
C
C Ce S.P. initialise un vecteur un vecteur à 0.
C
      INTEGER VECT(LONG)
      DO 10 I= 1, LONG
      VECT(I) = 0
10 CONTINUE
      END
```

ANNEXE 2 :

Structure du fichier de la base des statistiques de pêche

ANNEXE 3

Exemplaire de fiche de station utilisée en pêche expérimentale.

ANNEXE 4 :

Exemplaire de la communication : " Péroudou J.B., E. Prévost, 1989. The fishery of the southern red snapper (*Lutjanus purpureus*) in French Guiana : analysis and processing of fishery statistics. Bol. Inst. Ocenogr. Venezuela, Univ, Oriente, 28(1 et 2), 253-261.

THE FISHERY OF THE SOUTHERN RED SNAPPER (*LUTJANUS PURPUREUS*) IN FRENCH GUIANA: ANALYSIS AND PROCESSING OF FISHERY STATISTICS.

J. B PERODOU

Laboratoire "Ressources Halieutiques", Ifremer B.P. 477 97300 Cayenne, Guyane Française.

&

E. PREVOST

Laboratoire d'Hydrologie, INRA, 62 route de St Briec, 35042 Rennes Cédex, Francia.

ABSTRACT: The southern red snapper *Lutjanus purpureus* is traditionally exploited by a fleet of Venezuelan handliners in French Guiana's E.E.Z. The processing of fishery statistics supplies a quantitative description of the resource and of the fleet, which is required for management and stock assessment. The model involved is a two factor multiplicative one. It extracts from C.P.U.E. fishing power by boat and an apparent abundance of red snapper by space and time stratum. The algorithm used by the program PUIS2 allows for an important saving of computer worktime, which permits exploratory data analysis on microcomputer. Fishing power variations provide a fleet typology based upon some similitudes about fishing tactics and strategy. Variations of apparent abundance per area-month stratum lead to set a diagram of the vital life cycle stages: juvenile, reproductive adult and recovering adults.

RESUMEN: El pargo colorado *Lutjanus purpureus* de la ZEE de Guayana Francesa es tradicionalmente explotado por embarcaciones de altura venezolana que emplean el cordel. El tratamiento de las estadísticas de pesca de una descripción cuantitativa del recurso y de la flota, la cual es necesaria para la ordenación y evaluación. Un modelo con dos factores multiplicativos ha sido utilizado. Este saca de la CPUE una potencia de pesca por barco y una abundancia aparente de pargo colorado por estrato de espacio y de tiempo. El algoritmo del programa PUIS2 permite un ahorro importante del tiempo de trabajo de la computadora para un análisis exploratorio de los datos. Las variaciones de la potencia de pesca dan una tipología de la flota fundamentada en tácticas y estrategias de pesca. Las variaciones de abundancia aparente por estrato-zona-mes lleva a un diagrama de las fases del ciclo vital juvenil, adulto reproductor, adultos en fase de pausa sexual.

INTRODUCTION

Nowadays it is possible to analyse fishery statistics on a simple microcomputer. Results are used in stock assessments to obtain previsions of catch and effort. They are also used to reach a structural description of the fleet and the resource. Obviously, there are a lot of sources of heterogeneity: gear, ship, target species, port, fishing ground, abundance of age groups, etc.

This study analyses Venezuelan - handliners fleet statistics related to the southern red snapper *Lutjanus purpureus* in the French Guiana's E.E.Z. The model

extracts from data, of some fishing power of ships and apparent abundances of red snapper per area-month stratum. The program, named PUIS2, reduces considerably the computer time in relación to other programs.

First, a preliminary process detects and rectifies suspect data, allowing subsequent validation of the statistics. Then the analysis of residuals estimates the divergences of the model.

Secondly, we come to determine a typology of ships based upon differences of fishing power and try to put

forward the explicative factors of these variations.

Finally, the variations of the apparent abundance per area-month stratum lead to determine a diagram of the main vital cycle stages: juveniles, reproductive adults and recovering adults.

THE MODEL

Notation and presentation:

Following LAUREC & PERODOU (1987), we consider a group of Nb ships marked by i (i = 1... Nb). They fish in Ns time-area stratum marked by j (j = 1... Ns).

Each observation (1) refers to the catch per unit of effort (CPUE) for the ith ship on the ith location... (1) varying from 1 to No.

With this notation the classical ROBSON'S' model (1966) can be expressed as: CPUE (1) = Pb. (1) As. (1). E(1).

Using the logarithmic transformation, gives the linear model: $u(1) = pb(1) + as(1) + \sum(1)$.

with:

Pb: fishing power for ship b and pb its logarithm.

As: apparent abundance for stratum and as its logarithm.

E (1): stochastic residual and \sum its logarithm.

u(1): logarithmic value of CPUE (1).

Pb is a relative fishing power for ship b in relation to a particular ship number 1 chosen as a reference (p1=0).

Hypothesis

Residuals have to be considered as stochastic according to some assumptions known as GAUSS - MARKOV hypothesis: we suppose that \sum have a mean equal to zero, a variance that can be considered as constant and a covariance equal to zero.

$$E(\epsilon(1)) = 0; \text{ var}(\epsilon(1)) = \sigma^2; \text{ cov}(\epsilon(1), \epsilon(1')) = 0$$

No hypothesis was drawn about the distribution law of residuals.

This model does not take into account the

interactions between Pb and As. That would correspond to disparities of the relative fishing power from one stratum to another.

Least squares estimation:

Unknowns are the Nb - 1 logarithmic fishing power pi (i=2... Nb) and the logarithmic apparent abundance ad (j=1... Ns).

Their determination is achieved by the least squares method which minimizes the sum of square of residuals:

$$\sum_{i=1}^{no} m(1) (u(1) - (pb(1) + as(1)))^2$$

a weight m(1) is allotted to each observation (1). First we use the self-weighted factor m(1) = 1.

In matrix notation we have the linear system:

$$\begin{matrix} \text{Observations} & & \text{unknowns} & & \text{residuals} \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ Y & = & X & B & + & E \\ (n, 1) & & (n, q) & (q, 1) & & (n, 1) \end{matrix}$$

The X matrix is a "presence-absence" table coded with 1 and 0.

The unknowns are obtained algebraically by reducing to zero the partial derivatives $\frac{d(e'\epsilon)}{dpi}$ and $\frac{d(e'\epsilon)}{daj}$

if (e'ε) is the residuals sum of square $\sum_{l=1}^{No} m(1) \epsilon^2(1)$

Then the best unbiased estimator of the linear system is

$$B = (X'X)^{-1} X'Y$$

The unbiased estimator of σ^2 is

$$S^2 = \frac{1}{n - q} \sum \epsilon^2(1)$$

Fishery of the southern red snapper.

and the unbiased estimator of the variance - covariance matrix of estimators is

$$S^2 = S^2 (X'X)^{-1} \\ (q, q)$$

Programming:

If the method is rather easy to draw up from an algebraic point of view it presents some programming difficulties. The program FPOW of BERUDE (in ABRAMSON 1971 and SIMS 1985) inverts the symmetric matrix $(X'X)$ of $N_b - 1 + N_s$ dimension. The time required to invert a matrix increases as much as the cube of its dimension and the computer time can be prohibitive. The method presented by LAUREC & PERODOU (1987) reduces the dimension of the matrix from $N_b - 1 + N_s$ to the smaller N_b and N_s . The computer time is reasonable and it becomes possible to use a microcomputer.

Statistical Inferences and bias correction:

The program PUIS2 does not allow to make some inferences which would be required to invert the complete matrix $X'X$. Nevertheless it is useful to detect doubtful data and examine the residuals E to check the model's assumptions.

Besides, our experience has shown us that the error estimations are a small component of the residuals variances, except in cases where few data were given by shipmasters.

The estimations obtained are biased. The retransformation of logarithmic estimations to the original scale produces a bias (LAURENT, 1963).

A correction is possible if the logarithmic variance is estimated.

In practice, this bias correction is negligible σ^2 must be important and estimation are inaccurate, or else σ^2 is low and the bias becomes negligible.

Eventhough, PUIS2 is incomplete from a statistical point of view, it is a useful and practical analytical tool.

Data and material:

The southern red snapper *Lutjanus purpureus* is traditionally exploited by a fleet of Venezuelan handliners in French Guiana's E.E.Z. This article analyses fishery statistic for the year 1988.

The first data source comes from factories which furnished quantities landed in weight by species, ship and trip, and secondly from fishermen who indicated on logbooks the fishing effort and the proportion fished per day and area. The total number of observations is 1840 for 25 ships and 87 locations.

Detection and correction of divergences of the model:

Divergences have been detected by plotting the graph of residuals and parameters.

Detection of doubtful data:

Another assumption is that, the model used is suitable to all data.

We have seen that the number of observations per parameter must be large enough to get a small variation coefficient and a negligible bias. We have discarded ships and locations whose number of observations was smaller than 5.

After having discarded some observations for which residuals were far from mean, more than 3 times the standard deviation (see residuals histogram, Fig. 1). It is at this point where we can check the reliability of our data and discard the coding errors, from whatever source they may come from.

Finally, we have examined the parameters distribution (Fig. 1) and noticed a few isolated values. The origin of the anomaly was a systematic coding error such as the use of a particular scale of measure. It is also possible to detect invented data. Then residuals are abnormally distributed near zero.

Non constant variance (Fig. 2):

The second assumption studied is that σ^2 is constant for all cases in the data. A simple procedure to check the assumption of constant variance is to go through the plots of residuals against parameters.

In Fig. 2 we can see that standart deviations of residuals decrease when the parameters fishing power and apparent abundance increases. We also can see that the number of observations per parameter is not connected with it, the heterogeneity of the experience plan does not explain the nonconstant variance. First weighed least squares could be used with an empirically chosen weight. The second alternative could be to transform the response through a variance stabilising

transformation.

Explicative factors of fishing power variations:

Fishing power of handliners are given in the annex

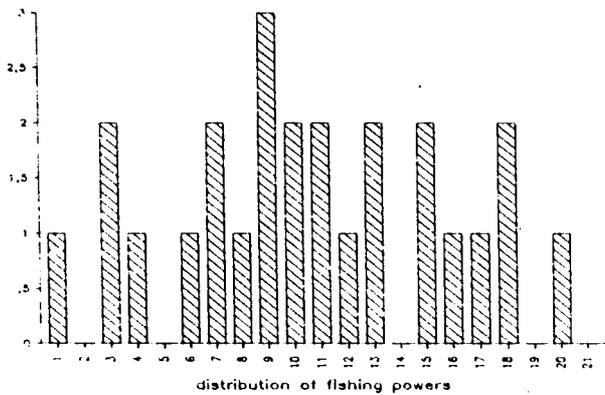
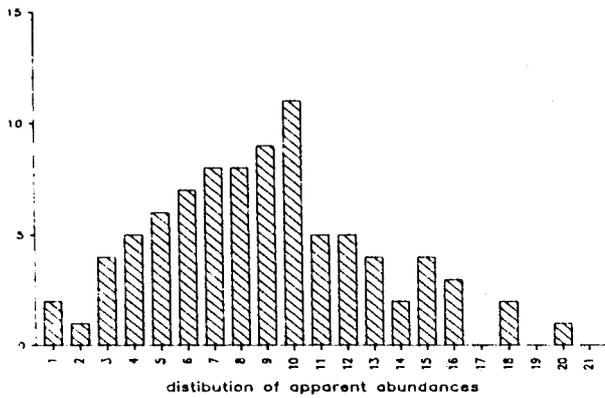
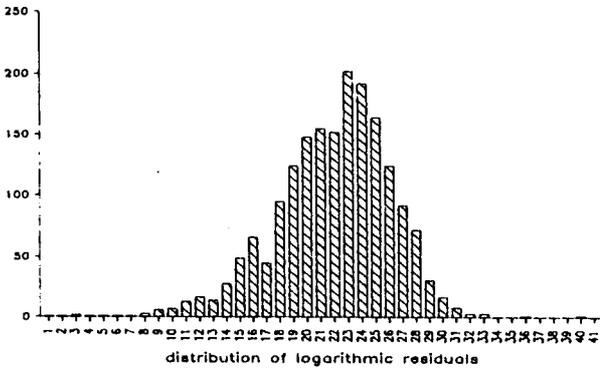


Fig. 1.- Detection of suspect data.

are we and presented in Fig. 3. At first sight, fishing powers between ships would seem to be homogeneous. The variation coefficient being 23%. Many factors might explain the variation in fishing power of the different handliners.

We see in Fig. 3 that the overall length, correlated with the other physical characteristics as engine power and tonnage, does not appear as an explicative factor of fishing power variations.

Each vessel is bound by an agreement with a factory. The mean fishing power of boats in connexion with factory 1 is equal to 1.09 whereas it is equal to 95 for boats in connection with factory 3. Our knowledge of the fishery allows us to conclude that there is a real difference between the two groups, even though it is not statistically different. The relative difference of the mean fishing power between these two groups of vessels is 14%.

We haven't found other factors which could explain the variations of the fishing power. The fishing port is well known to be a main factor of heterogeneity

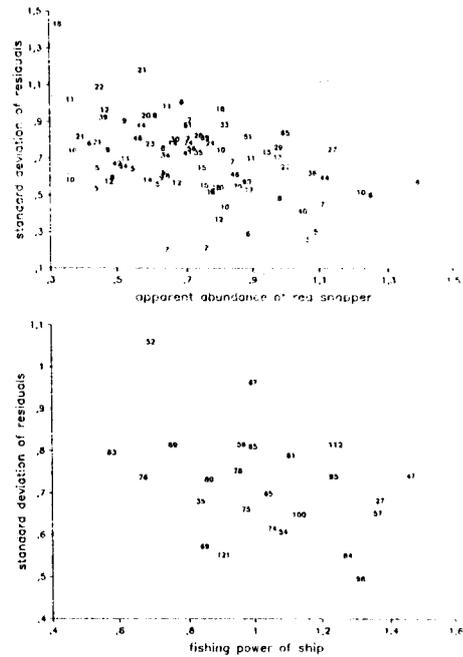


Fig. 2.- Diagnostic for nonconstant variance (xx: observations number)

Fishery of the southern red snapper.

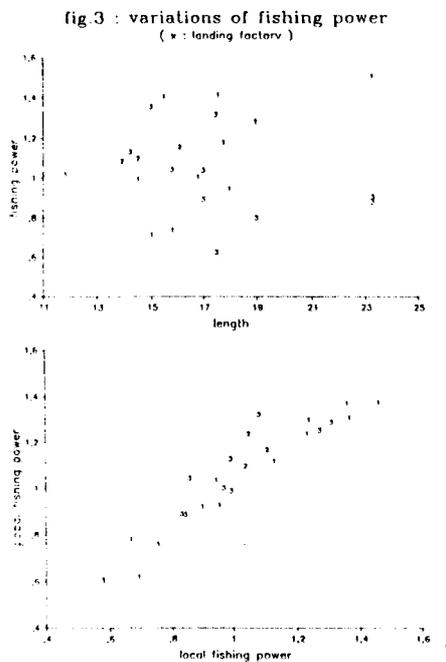


Fig. 3.- Variations of fishing power (x: factory landing).

between ships, but all the handliners are located in Margarita Island.

To show the ability of boats to detect the rich fishing grounds, computation has been recast without distinctions between fishing grounds. Thus we obtain a new fishing power called "global fishing power" in opposition to "local fishing power" (LAUREC, 1977). This new index is closely related to the other (see Fig. 3) and this means that all ships fish on the same fishing grounds. In this case, according to our scale of observation, the fishing ground is not a discriminating factor of the fleet.

Finally, without any factor to check we might explain the variations of fishing power by the "know-how" of fishermen. Ships fish in groups. When a ship has detected a school, other ships draw in next to it.

This cooperation can be voluntary or not. We can distinguish two components in the "know-how" of fishermen: the search for schools and the angling once a school is detected. The latter depends on the fishing skills of fishermen. In the search of schools, the shipmaster waves between two extreme attitudes:

either he leaves the fishing ground and runs the risk to obtain better yields, or he remains on the same fishing ground to assure the profit-earnings of the trip.

Apparent abundance:

Abundance is said to be "apparent" when it combines two factors: the real density of fishes and the behaviour of fishermen, his tactics and strategy of fishing. We think that the variations of density prevail over the variations of fishing efficiency, which are considered negligible. Thus it is possible to explain variation of apparent abundance by variations of density in connection with recruitment, spawning grounds and seasons.

Variations of handlines effectiveness can also have and influence on the apparent abundance: influence of depth, strength of current, turbidity of water and also influence of fish appetite.

The fishing effort is located between areas 1 and 3, the area 2 being the center of fishing grounds. We observe a lack of fishing data from December up to and including February, masking a part of the life cycle of red snapper.

In Fig. 4 we can observe an important background noise of apparent abundance between strata. Nevertheless we could observe two peaks of apparent abundance, the first in the 2nd quarter and the other from August to October.

These maximum values of abundance could be in connexion with the bi annual reproduction as observed by GESTEIRO & IVO (1973) who found out that the largest spawn occurs in February and the second on October. IVO & HANSEN (1982) have studied the diagram of the red snapper's vital life cycle. It is a demersal and sedentary species. It migrates towards the coral reefs near the slope, off the continental shelf to spawn and goes back to the feeding on the continental shelf. Eggs and larvae drift with the Guiana current from the spawning grounds to the inshore.

Seasonal arrivals of recruits must exist. But apparent abundance is a combined index over age groups. So it would be hazardous to separate seasonal peaks of recruitment and spawn. The use of desaggregated CPUE by age group would be recommended.

The relationship between fishing effort and apparent abundance is displayed in Fig. 5. At first, fishing effort increases with abundance, then, it decreases to near zero

J. B. PERODOU & E. PREVOST

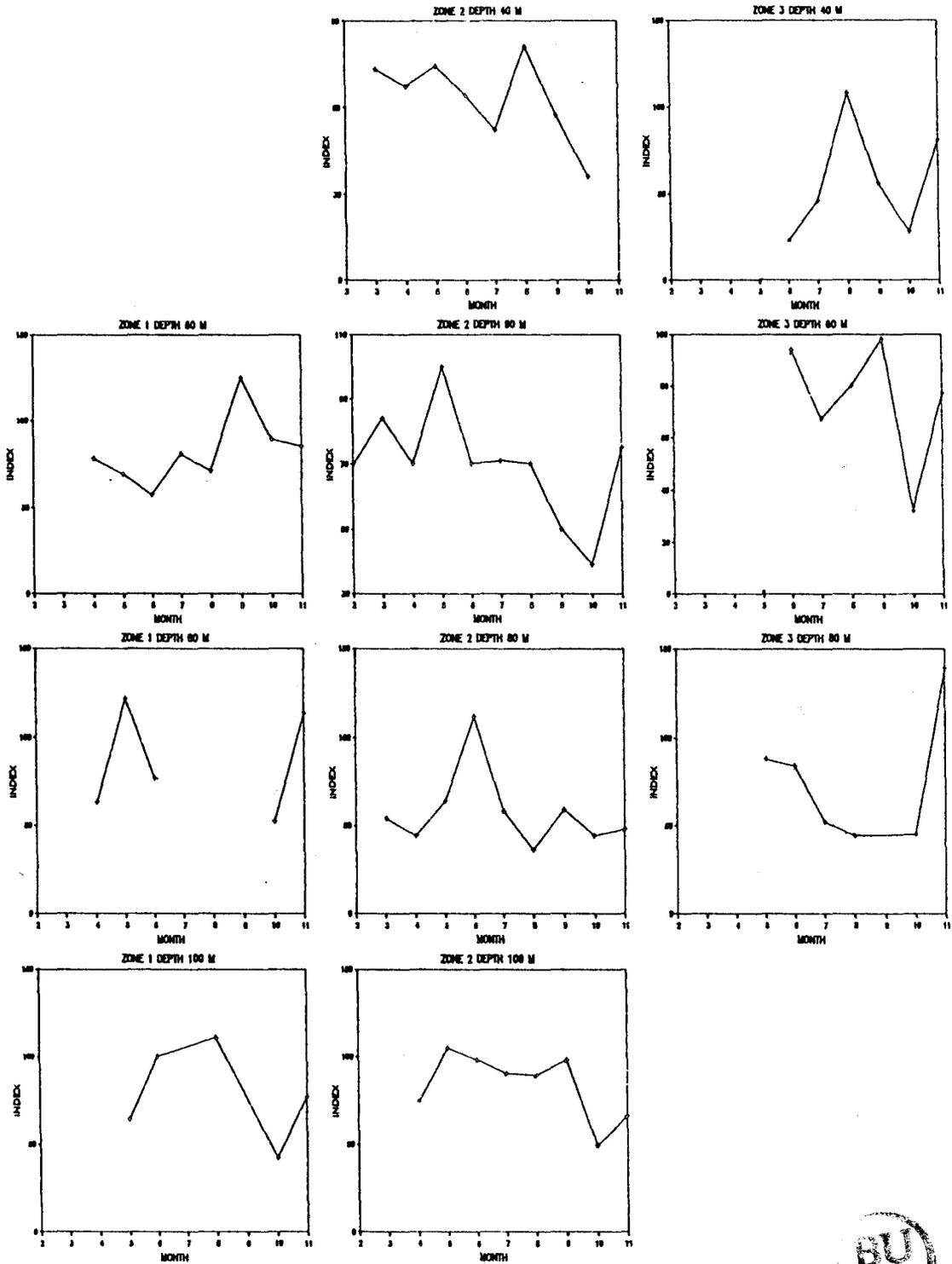


Fig. 4.- Apparent abundance index per month - area stratum.



Fishery of the southern red snapper.

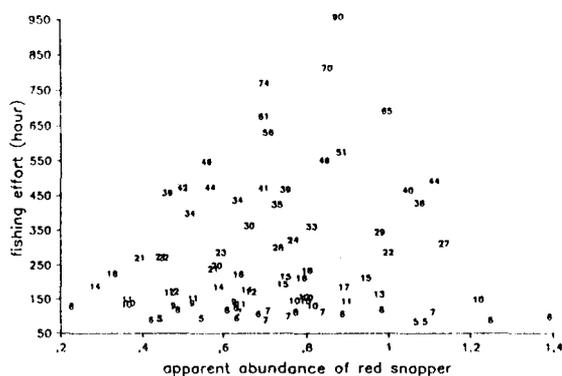
fig. 5 : effort versus apparent abundance
(xx : observations number)

Fig. 5.- Effort versus apparent abundance (xx: observations number).

for the largest abundance. It is surprising, from the fleet strategy point of view, to note that the fleet doesn't allocate the maximum of its effort in the strata of largest abundance of red snapper, in spite of the fact that it is a target species.

CONCLUSIONS

Fishing statistics and the model used lead to a structural description of the fleet and the resource from the comparison of fishing power index on one side and apparent abundance on the other.

The model used is a multiplicative one with two factors (ROBSON, 1966). The algorithm used in the program PUIS2 decreases the dimension of matrix and computer working time. In this example the program PUIS2 is $(4.5)^3=91$ times faster than the program FPOW.

Fishing power between handliners are relatively homogeneous, this is a characteristic point of the fleet studied: ships belong to the same port, they have similar dimensions, same fishing grounds and use the same fishing tactics. A more careful analysis of the situation reveals two groups of ships in relation to the landing factories, the difference of fishing power between two of them being 14%.

Fishing grounds are located in area 2, between 40 and 100 m depth. The variations of apparent abundance for one stratum to another seems to be chaotic. A closer

look at the facts reveals two peaks of reproductive concentration, the first one occurring during the 2nd quarter and the other between August and October. However this interpretation needs to be validated in the future.

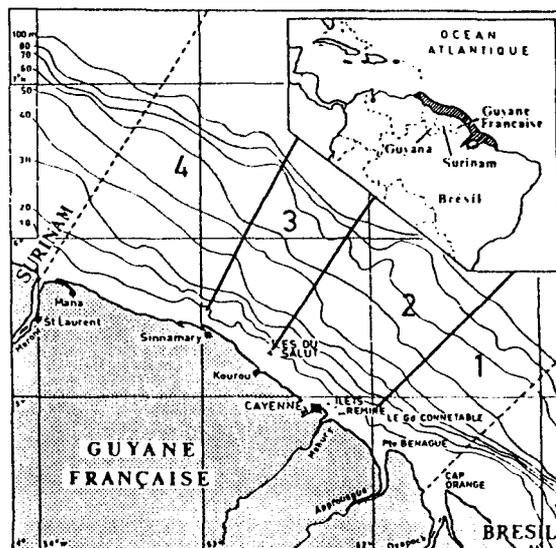
The prime cause of confusion is that the area scale is too small. The small scale produces an important background noise. To remove the difficulty, it would be advisable to draw a spatial structure with squares, one degree sided.

Secondly, the apparent abundance is a combined index over all age groups. It is uncertain to separate seasonal peaks of recruitment on one side and seasonal peaks of spawn on the other.

The possibility to turn some desegregated CPUE per commercial category would be an useful progressive step in the description of the resource and would satisfy the demand of stock assessments.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are grateful to JACQUELINE MARIE for the critical reviews and comments on the english translation of the manuscript. Also, we wish to thank MARIE-CHRISTINE THUA, who has produced the typescript within the time limit.



Delimitación of the geographical areas.

J. B. PERODOU & E. PREVOST

ANNEX

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	SHIP	L.F.P.	S.D.R.	L.F	O.N.	G.F.P.
1	20										1.	0.902	0.529	1.	121.	0.882
1	40					63					2.	0.973	0.639	3.	75.	0.962
1	60		78	69	57	81	71	125	89	85	3.	0.959	0.792	1.	56.	0.887
1	80		63	122	77				52	114	4.	1.310	0.472	3.	98.	1.249
1	100			64	100		111		42	77	5.	1.463	0.718	1.	47.	1.336
1	120										6.	1.368	0.659	1.	27.	1.268
2	20								20		7.	0.668	0.715	1.	76.	0.739
2	40	70	73	67	74	64	52	81	57	36	8.	1.361	0.629	1.	57.	1.332
2	60		84	70	100	70	71	70	50	39	9.	0.845	0.549	3.	69.	0.847
2	80		54	44	64	112	58	36	59	44	10.	1.240	0.792	1.	112.	1.260
2	100			74	105	98	90	89	98	49	11.	0.692	1.036	1.	52.	0.580
2	120		109								12.	1.110	0.766	2.	61.	1.128
3	20										13.	0.753	0.791	3.	89.	0.718
3	40				23	46	108	56	28	81	14.	0.833	0.657	3.	35.	0.851
3	60	80			94	67	80	98	32	77	15.	0.859	0.710	3.	80.	1.004
3	80			88	84	52	44		45	139	16.	0.948	0.730	1.	78.	0.996
3	100							47	75		17.	0.579	0.773	3.	83.	0.567
3	120							107			18.	1.273	0.527	3.	84.	1.214
4	20										19.	0.996	0.940	3.	67.	0.949
4	40			76		80		59	47		20.	1.052	0.592	2.	74.	1.199
4	60					63					21.	1.041	0.676	2.	65.	1.056
4	80								64		22.	0.994	0.787	3.	85.	1.082
4	100								79		23.	1.085	0.584	3.	54.	1.284
4	120										24.	1.132	0.676	1.	100.	1.077
											25.	1.234	0.717	1.	95.	1.199

TABLE OF APPARENT ABUNDANCE.

ZONE	DEPTH (m)	MONTH															
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
1	20																
1	40						108										
1	60			178	72	205	326	81	54	539	777						
1	80			60	114	111				105	277						
1	100				78	252		77		55	288						
1	120																
2	20									84							
2	40		389	137	266	101	365	922	439	115							
2	60	54	116	734	655	640	595	435	439	237	432						
2	80		60	57	402	455	214	100	252	239	138						
2	100			159	430	309	109	151	84	84	142						
2	120			50													
3	20																
3	40					96	423	393	512	153	96						
3	60		200			178	328	110	129	191	78						
3	80				72	78	118	60		238	63						
3	100								135	181							
3	120								50								
4	20																
4	40				65		119		151	96							
4	60						90										
4	80									189							
4	100									122							
4	120																

TABLE OF FISHING EFFORT (in hour)

TABLE OF FISHING POWER.

L.F.P. Local Fishing Power.
 S.D.R. Standar deviation of residuals.
 L.F Landed factory.
 O.N. Observations number.
 G.F.P. Global Fishing Power.



Fishery of the southern red snapper.

REFERENCES

- ABRAMSON, N.N. 1971. Computer programs for fish stock assessment. *F.A.O. Fish, Biol. Tech. Pap.*, 101: 4 p + unpag.
- CELAYA, J. & L. W. GONZALEZ C. 1988. Descripción de la pesquería de altura del pargo del Estado Nueva Esparta, Venezuela. Contribuciones Científicas Nº 17. *Centro de Investigaciones Científicas, Universidad de Oriente*, 77 pp.
- GESTEIRA, T.C.V. & C.T.C. IVO 1973. Estudo da reprodução e fecundidade do pargo, *Lutjanus purpureus* Poey, do norte e nordeste do Brazil. *Arq. Cien. Mar.*, 13 (2): 109-112.
- IVO, C.T.C. & A.J. HANSEN 1982. Aspectos da biología e dinâmica populacional do pargo, *Lutjanus purpureus* Poey, do norte e nordeste do Brazil. *Arq. Cien. Mar.*, 22 (1/2): 1-41.
- LAUREC, A. & J. B. PERODOU 1987. Regards statistiques et informatiques sur l'analyse des puissances de peche et des abondances apparentes. *Cons. Int. Explor. Mer.*, D: 9, 27 pp.
- LAUREC, A. G. 1963. Lognormal distribution and translation method: description and estimation, *J. Amer. Statist. Assoc.*, 58: 231-235.
- ROBSON, D.S. 1986. Estimation of the relative fishing power of individual ships. *Icnaf. Res. Bull.*, 3: 14 pp.
- SIMS, S.E. 1985. Selected computer programs in Fortran for fish stock assessment. *F.A.O. Fish. Tech. pap.* Nº 259, 193 pp.

ANNEXE 5

Estimation des effectifs capturés de vivaneau rouge par mois.

Mois	\widehat{X}_h	S_h	n_h	\widehat{N}_h	$\widehat{v}(\widehat{N}_h)$	\widehat{t}_h	$\widehat{v}(\widehat{t}_h)$	CV
1								
2	1250	1198	5	6	0,3	7500	1366	0,18
3	1802	915	9	17	0,85	30634	3877	0,13
4	4839	489	3	12	0,6	58068	4130	0,07
5	2726	1320	13	15	0,75	40890	2865	0,07
6	3027	1299	7	17	0,85	51459	6907	0,13
7	3299	1355	12	20	1	65980	5952	0,09
8	3613	1410	13	26	1,3	93938	8595	0,09
9	3728	2079	5	8	0,4	29824	4798	0,16
10	7146	4462	10	14	0,7	100044	11696	0,12
11	7436	3342	5	18	0,9	133848	23850	0,18
12								
total			82	153	2,57	612185	30460	0,05

1985

Mois								CV
1	3206		1	1	0	3206		
2	3773	2027	8	9	0,45	33957	2742	0,08
3	2441	1345	12	19	0,95	46379	5048	0,11
4	2529	1861	11	18	0,9	45522	6705	0,15
5	2625	1583	13	17	0,85	44625	4257	0,1
6	4767	2055	17	30	1,5	143010	12176	0,09
7	5592	4856	11	16	0,8	89472	13854	0,15
8	3918	1898	13	22	1,1	86196	8578	0,1
9	6880	5297	5	12	0,6	82560	22127	0,27
10	5426	2033	15	18	0,9	97668	6226	0,06
11	3805	2695	14	31	1,55	117955	17575	0,15
12								
total			120	193	3,22	790550	36702	0,05

1986

Mois									CV
1	2014	1221	2	2	0,1	4028	201	0,05	
2	2251	1410	13	15	0,75	33765	2729	0,08	
3	2371	1044	11	20	1	47420	4848	0,1	
4	3344	822	4	7	0,35	23408	2219	0,09	
5	3199	1737	8	9	0,45	28791	2340	0,08	
6	4075	2302	29	37	1,85	150775	10538	0,07	
7	3386	1373	13	20	1	67720	5641	0,08	
8	4500	2599	10	15	0,75	67500	7885	0,12	
9	4474	1114	20	21	1,05	93954	4835	0,05	
10	3567	1254	26	36	1,8	128412	7941	0,06	
11	3975	1944	15	26	1,3	103350	9947	0,1	
12	3275	1342	2	2	0,1	6550	328	0,05	
total			153	210	3,59	755673	20783	0,03	

1987

Mois									CV
1									
2	2203	1388	3	4	0,2	8812	1664	0,19	
3	4572	1432	12	17	0,85	77724	5446	0,07	
4	3352	1693	18	27	1,35	90504	7699	0,09	
5	4364	1899	25	28	1,4	122192	7034	0,06	
6	5789	2045	20	24	1,2	138936	8269	0,06	
7	4452	1755	25	28	1,4	124656	7016	0,06	
8	5527	1877	21	27	1,35	149229	9106	0,06	
9	4182	1431	20	20	1	83640	4182	0,05	
10	3534	2134	24	29	1,45	102486	7338	0,07	
11	5606	1614	19	39	1,95	218634	15057	0,07	
12									
total			187	243	4,083	1116813	25293	0,02	

1988

Mois									CV
1									
2	1481	682	35	37	1,85	54797	2914	0,05	
3	2479	1264	44	52	2,6	128908	7529	0,06	
4	2752	1249	29	37	1,85	101824	6472	0,06	
5	2174	1723	20	30	1,5	65220	7435	0,11	
6	3457	1197	24	28	1,4	96796	5489	0,06	
7	3862	1450	31	34	1,7	131308	7074	0,05	
8	3448	1726	25	33	1,65	113784	7994	0,07	
9	2829	1254	23	28	1,4	79212	5028	0,06	
10	4953	1340	35	38	1,9	188214	9717	0,05	
11	3887	2160	43	56	2,8	217672	14058	0,06	
12	657	302	10	18	0,9	11826	1291	0,11	
total			319	391	6,14	1189561	25008	0,02	

1989

Mois									CV
1									
2	1478	699	14	14	0,7	20692	1035	0,05	
3	2147	981	25	34	1,7	72998	5013	0,07	
4	3519	1551	23	27	1,35	95013	5822	0,06	
5	2973	1575	33	35	1,75	104055	5687	0,05	
6	2157	1103	33	46	2,3	99222	6835	0,07	
7	5740	1444	20	29	1,45	166460	9826	0,06	
8	4092	1571	17	22	1,1	90024	6022	0,07	
9	4625	1308	31	33	1,65	152625	7867	0,05	
10	4541	1335	39	45	2,25	204345	10806	0,05	
11	3884	1057	21	40	2	155360	10044	0,06	
12	2714	899	5	9	0,45	24426	2707	0,11	
total			261	334	5,37	1185220	23639	0,02	

1990



Mois								CV
1								
2	1530	1047	21	22	1,1	33660	1996	0,06
3	1337	1270	32	38	1,9	50806	4240	0,08
4	3055	2244	43	47	2,35	143585	8580	0,06
5	2199	1210	48	60	3	131940	8095	0,06
6	2493	1359	38	45	2,25	112185	6842	0,06
7	2794	1351	30	41	2,05	114554	7766	0,07
8	3174	1365	27	35	1,75	111090	7087	0,06
9	2861	953	25	27	1,35	77247	4109	0,05
10	2727	1234	33	40	2	109080	6534	0,06
11	2768	1904	22	30	1,5	83040	7542	0,09
12	2968	1394	6	11	0,55	32648	4530	0,14
total			325	396	6,328	999835	21341	0,02

1991



ANNEXE 6 :

Distribution en taille des effectifs capturés par an, entre 1986 et 1991.

Classe de taille (cm)	1986	1988	1989	1990	1991
20	0	130	0	0	0
21	0	326	0	0	0
22	234	266	0	0	37
23	100	456	0	42	216
24	1522	657	515	0	355
25	330	710	673	547	721
26	2233	1048	2043	887	3287
27	2020	2342	3198	2631	3355
28	4530	4038	5429	4682	4803
29	4895	4972	5920	8404	7684
30	7494	9111	13369	12147	8402
31	7500	10707	15319	15671	12534
32	8047	14740	22165	19799	13131
33	7502	15869	28360	25304	17012
34	11358	18578	36406	24117	19336
35	12394	20536	33865	30537	22725
36	16221	26325	34116	36939	25893
37	16117	26694	37800	43689	26894
38	16803	26981	37683	48697	27122
39	21559	32429	38842	45977	27827
40	21135	32986	47427	43987	30169
41	20992	32394	42320	39476	26062
42	20337	30252	42409	36674	25981
43	17241	34518	39832	37869	22049
44	19980	28523	33531	29782	20775
45	20667	27554	30393	26160	16938
46	18079	27671	24976	28121	15982
47	17892	22644	26082	22930	16177
48	18016	20327	22581	23617	15042
49	15494	19170	18997	17539	11803
50	14183	20289	16608	15180	9560
51	11452	18104	15342	15613	10656
52	14340	14026	16667	16599	7831
53	10338	12620	14160	14285	8277
54	11153	11288	10634	9017	7067
55	8556	11000	12942	12340	9139
56	10518	11506	10769	10451	6086
57	9845	9749	9369	7978	8485
58	9821	9205	7513	7069	5278
59	7129	8731	8520	7231	5506
60	8026	8182	8936	7596	7730
61	8121	6743	5973	8020	5210
62	8376	7356	11641	7367	5387
63	4339	7749	7255	4881	7568
64	4428	6759	8824	5805	6512
65	5159	6496	6710	4708	7869
66	4005	5959	5124	4265	7453
67	4223	5548	4122	3936	7411
68	4596	4551	4937	2984	5331
69	2639	5578	3133	2034	6652
70	2780	4947	3449	2753	5045
71	2109	5272	3415	2788	5000
82	1912	3891	3906	1873	3530
73	1110	3161	3367	2949	3242
74	986	2931	2916	1403	2632
75	267	2528	1850	1086	1496
76	577	2225	1212	1015	1073
77	410	1726	1147	732	1255
78	301	796	574	205	760
79	200	832	539	162	357
80	0	562	170	88	115



ANNEXE 7

Analyse de pseudo-cohorte sur les tailles à partir des effectifs moyens par an, capturés sur la période 1989-1991.

Légende :

- C : effectif capturé
- dt : intervalle de temps (en année) nécessaire à un individu pour grandir de la longueur l_i à la longueur l_{i+1}
- F : coefficient de mortalité par pêche
- N : effectif survivant dans le stock
- A(K), A(L_∞), A(M), A(F⁺) : coefficients relatifs (en %) de sensibilité du paramètre F
- Delta : variations relatives (en %) du paramètre F en réponse aux variations des paramètres M et F⁺
- Incertitudes : domaines d'incertitudes à 95% du paramètre F liés aux matrices de covariance des captures et des paramètres de croissance

Classe de taille	effectifs captures	M	P	N	Am	AL	AM	AE	delta M * +0,1	delta M * +0,1	delta FL * +0,1	delta FL * +0,1	incertitude des captures		incertitude de la mortalite	
													E inf	E sup	E inf	E sup
20	0	0,105	0	2 267 845	2,01	4,74	-1,01	0,87	73,4	-47,7	24,3	-36,6				
21	0	0,1068	0	2 215 197	2,19	4,74	-1,19	0,87	71,7	-47,3	24,3	-36,6				
22	12	0,1067	0,0001	2 166 948	2,17	4,73	-1,17	0,87	70	-46,8	24,3	-36,6	-0,0003	0,0004	0,0001	0,0002
23	85	0,1106	0,0006	2 122 270	2,15	4,72	-1,15	0,87	68,3	-46,4	24,3	-36,6	-0,0001	0,0012	0,0004	0,0007
24	290	0,1126	0,0015	2 075 706	2,12	4,71	-1,12	0,87	66,5	-45,9	24,3	-36,6	0,0004	0,0026	0,001	0,0019
25	647	0,1147	0,0044	2 029 140	2,1	4,71	-1,1	0,87	64,8	-45,4	24,3	-36,6	0,0024	0,0063	0,003	0,0057
26	2072	0,1168	0,0084	1 982 137	2,08	4,7	-1,08	0,88	63	-44,9	24,3	-36,7	0,0057	0,0111	0,0058	0,011
27	3061	0,1191	0,0148	1 934 456	2,06	4,7	-1,06	0,88	61,3	-44,3	24,3	-36,7	0,0112	0,0184	0,0102	0,0194
28	4971	0,1214	0,0227	1 885 612	2,03	4,7	-1,03	0,88	59,5	-43,8	24,4	-36,7	0,0182	0,0272	0,0156	0,0298
29	7336	0,1238	0,0352	1 835 334	2,01	4,7	-1,01	0,88	56	-43,2	24,5	-36,8	0,0295	0,0408	0,024	0,0463
30	11306	0,1263	0,0499	1 782 687	1,99	4,7	-0,99	0,88	56,5	-42,7	24,6	-36,9	0,043	0,0567	0,0338	0,0659
31	14508	0,1289	0,0673	1 727 321	1,97	4,72	-0,97	0,89	55,1	-42,2	24,8	-37,1	0,0592	0,0755	0,0453	0,0893
32	18365	0,1316	0,0873	1 668 833	1,96	4,73	-0,96	0,9	53,9	-41,7	25,1	-37,3	0,0778	0,0968	0,0583	0,1163
33	23559	0,1344	0,108	1 606 923	1,94	4,76	-0,94	0,91	52,8	-41,2	25,4	-37,6	0,0972	0,1188	0,0714	0,1446
34	26620	0,1374	0,1275	1 541 759	1,93	4,79	-0,93	0,92	51,9	-40,7	25,9	-37,9	0,1154	0,1396	0,0833	0,1717
35	29042	0,1405	0,1451	1 473 933	1,91	4,84	-0,91	0,94	51,2	-40,3	26,5	-38,3	0,1319	0,1583	0,0935	0,1967
36	32316	0,1437	0,1653	1 404 191	1,91	4,89	-0,91	0,96	50,6	-39,9	27,2	-38,8	0,1508	0,1798	0,1048	0,2258
37	36126	0,1471	0,186	1 332 333	1,9	4,95	-0,9	0,98	50,2	-39,5	28	-39,4	0,1701	0,2019	0,1158	0,2562
38	37834	0,1506	0,202	1 258 856	1,89	5,03	-0,89	1,01	50	-39,3	29,1	-40,1	0,185	0,2191	0,1232	0,2809
39	37549	0,1543	0,2182	1 184 892	1,89	5,11	-0,89	1,04	50	-39,1	30,2	-40,8	0,1999	0,2365	0,1299	0,3065
40	40526	0,1562	0,2236	1 110 836	1,89	5,21	-0,89	1,07	50,1	-38,8	31,6	-41,6	0,2045	0,2426	0,1295	0,3177
41	35953	0,1623	0,2281	1 036 828	1,89	5,31	-0,89	1,11	50,3	-38,6	33,1	-42,4	0,2083	0,2479	0,1282	0,3244
42	35021	0,1667	0,2228	969 072	1,89	5,42	-0,89	1,15	50,6	-38,4	34,7	-43,2	0,2028	0,2427	0,1211	0,3244
43	33250	0,1712	0,215	903 137	1,89	5,52	-0,89	1,2	50,6	-38,2	36,5	-44	0,195	0,2351	0,1128	0,3172
44	29029	0,1761	0,1999	841 179	1,89	5,63	-0,89	1,24	51	-37,9	38,3	-44,8	0,1803	0,2196	0,101	0,2989
45	24497	0,1812	0,1825	783 984	1,88	5,74	-0,88	1,29	51	-37,5	40,1	-45,5	0,1645	0,2025	0,0891	0,278
46	23026	0,1866	0,1752	731 357	1,88	5,84	-0,88	1,33	50,7	-37,1	42	-46,1	0,1563	0,194	0,0816	0,2587
47	21733	0,1923	0,1716	681 914	1,87	5,93	-0,87	1,37	50,3	-36,6	43,9	-46,7	0,1526	0,1906	0,0766	0,2567
48	20413	0,1984	0,1597	634 876	1,86	6,03	-0,86	1,42	49,8	-36,1	45,9	-47,2	0,1411	0,1783	0,066	0,2514
49	16113	0,2049	0,1434	591 140	1,85	6,12	-0,85	1,47	49,2	-35,5	47,9	-47,6	0,1256	0,1611	0,0582	0,2286
50	13783	0,2119	0,1294	550 973	1,83	6,2	-0,83	1,51	48,2	-34,8	49,9	-48	0,1124	0,1463	0,0499	0,2088
51	13870	0,2193	0,1266	513 832	1,81	6,28	-0,81	1,55	47	-34	51,8	-48,3	0,1097	0,1438	0,0465	0,207
52	13639	0,2273	0,1267	478 295	1,79	6,35	-0,79	1,6	45,7	-33,2	53,9	-48,5	0,1093	0,144	0,0439	0,2094
53	12241	0,2359	0,1151	444 072	1,77	6,42	-0,77	1,64	44,2	-32,3	56,1	-48,7	0,0983	0,1318	0,0375	0,1926
54	8906	0,2451	0,1118	412 266	1,74	6,49	-0,74	1,69	42,6	-31,3	58,2	-48,9	0,095	0,1285	0,0342	0,1893
55	11474	0,2551	0,1048	381 934	1,71	6,55	-0,71	1,73	40,7	-30,2	60,5	-48,9	0,0884	0,1212	0,0299	0,1797
56	9102	0,266	0,1078	353 356	1,68	6,6	-0,68	1,78	38,6	-28,9	62,9	-48,9	0,0908	0,1248	0,0286	0,187
57	8611	0,2778	0,0934	326 577	1,64	6,66	-0,64	1,83	36,5	-27,6	65,5	-48,9	0,0775	0,1093	0,0225	0,164
58	6620	0,2908	0,0889	300 993	1,6	6,7	-0,6	1,88	34	-26,1	68	-48,7	0,0732	0,1046	0,0199	0,1579
59	7086	0,3049	0,0902	276 916	1,56	6,73	-0,56	1,93	31,3	-24,5	70,5	-48,4	0,0741	0,1063	0,0184	0,162
60	8087	0,3206	0,0931	252 647	1,51	6,76	-0,51	1,99	28,4	-22,5	73,4	-48,1	0,0763	0,1098	0,0171	0,169
61	6401	0,3379	0,1021	229 900	1,46	6,78	-0,46	2,05	25,3	-20,7	76,6	-47,6	0,0841	0,1201	0,0166	0,1875
62	6132	0,3572	0,1	207 589	1,41	6,81	-0,41	2,12	22,2	-18,5	80,1	-46,9	0,0818	0,1182	0,0141	0,1859
63	6568	0,3789	0,1087	186 490	1,35	6,82	-0,35	2,19	18,6	-16	84,9	-45,8	0,0891	0,1283	0,013	0,2044
64	7047	0,4034	0,1061	165 904	1,28	6,83	-0,28	2,29	15,1	-13,3	90,2	-44,4	0,0863	0,126	0,0104	0,2018
65	6429	0,4312	0,1075	146 631	1,21	6,81	-0,21	2,39	11,2	-10,1	96,2	-42,5	0,0869	0,1281	0,0084	0,2065
66	5614	0,4632	0,1033	128 424	1,13	6,77	-0,13	2,5	6,9	-6,5	103,1	-40,1	0,0823	0,1243	0,0062	0,2004
67	5156	0,5003	0,0992	111 592	1,04	6,69	-0,04	2,62	2,3	-2,2	110,8	-36,9	0,2268	0,3116	0,0123	0,5261
68	29415	0,1	0,1	86 245	0	0	0,5	1,5					0,1	0,1		

Annexe 8 : Analyse de pseudo-cohorte sur les classes de taille à partir des effectifs moyens par an, capturés sur la période 1989-1991.



ANNEXE 8

Résultats de l'analyse structurale : prévisions en terme de rendement, de PUE relative et de biomasse féconde par recrue et étude de sensibilité.

Légende :

- Y/R : rendement par recrue (en g)
- PUE/R : PUE par recrue par rapport au diagramme de référence (multiplicateur de F=1)
- BF/R : Biomasse féconde par recrue par rapport au stock vierge (en %)
- A(K), A(L_v), A(M), A(F⁺) : coefficients relatifs de sensibilité de Y/R (en %)
- Fonction de gain perte : gain ou perte de production par recrue provoqué par un changement du multiplicateur du diagramme d'exploitation (en %)
- Delta : variations relatives de Y/R en réponse aux écarts des paramètres M et F⁺ (en %)
- Incertitudes : domaines d'incertitudes à 95% de Y/R liés aux matrices de covariance des captures et des paramètres de croissance

ANNEXE 9

Rendements (en kg/demi-heure) des trois principales espèces de lutjanidés capturées au chalut de fond à bord du N.O. "André Nizery".

Légende :

- L.P. : *Lutjanus purpureus*
- R.A. : *Rhomboplites aurorubens*
- L.S. : *Lutjanus synagris*



Campagne GV2

Trait N°	Date	Latitude nord	Longitude ouest	Profondeur (m)	L.P. kg/demi-heure	R.A. kg/demi-heure	L.S. kg/demi-heure
1	11/7/87	05°03'	51°40'				
2	22/7/87	06°21'	52°18'	91			46,5
3	22/7/87	06°26'	52°24'	95			63
4	22/7/87	06°41'	52°40'	116			35
5	22/7/87	06°49'	52°55'	94			100
6	23/7/87	06°46'	53°09'	70			1
7	23/7/87	06°39'	52°51'	72			4
8	23/7/87	06°30'	52°40'	70			27
9	23/7/87	06°18'	52°30'	70			
10	24/7/87	06°01'	52°10'	70			
11	24/7/87	05°49'	52°11'	62			
12	24/7/87	06°00'	52°26'	63			
13	24/7/87	06°13'	52°41'	62			18
14	24/7/87	06°25'	52°55'	59			
15	24/7/87	06°42'	53°14'	62			
16	25/7/87	06°29'	53°18'	51			
17	25/7/87	06°17'	53°06'	52			
18	25/7/87	06°01'	52°33'	53			
19	25/7/87	06°01'	52°33'	53			
20	25/7/87	05°50'	52°33'	48			
21	26/7/87	05°38'	52°35'	46			
22	26/7/87	05°46'	52°25'	50			22
23	26/7/87	05°11'	52°12'	28			
24	27/7/87	05°17'	51°59'	54			18
25	27/7/87	05°07'	51°51'	50			29
26	27/7/87	05°08'	51°47'	54			29
27	30/7/87	05°11'	51°55'	47			
28	30/7/87	05°09'	51°52'	48	1		4
29	31/7/87	05°01'	51°38'	53			1
30	31/7/87	04°52'	51°31'	51			3
31	1/8/87	05°01'	51°23'	59	9		3
32	1/8/87	05°03'	51°25'	62	13		27
33	1/8/87	05°25'	51°40'	61			
34	1/8/87	05°31'	51°53'	62			
35	1/8/87	05°47'	52°07'	63		1	
36	1/8/87	05°49'	52°00'	74	3	15	
37	2/8/87	05°39'	51°42'	72			
38	2/8/87	05°32'	51°32'	72	6	25	
39	2/8/87	05°22'	51°23'	71	10	23	
40	2/8/87	05°11'	51°12'	71	33	15	6
41	2/8/87	05°13'	51°12'	80	4	62	
42	3/8/87	05°31'	51°19'	80	61	180	2
43	3/8/87	05°48'	51°34'	84			
44	3/8/87	05°51'	51°36'	82	16	87	3
45	3/8/87	05°53'	51°35'	92	2	9	
46	3/8/87	05°44'	51°25'	91	9	78	
47	4/8/87	05°36'	51°17'	93	8	53	
48	4/8/87	05°26'	51°10'	92	1	1	
49	4/8/87	05°29'	51°09'	122	1	5	
50	5/8/87	05°34'	52°06'	57	27	9	22
51	5/8/87	05°44'	52°16'	50	13	4	8
52	5/8/87	05°30'	52°17'	52	15	1	19

Campagne GV3



Trait N°	Date	Latitude nord	Longitude ouest	Profondeur (m)	L.P. kg/demi-heure	R.A. kg/demi-heure	L.S. kg/demi-heure
1	24/5/89	05°09'	52°07'	30			
2	24/5/89	05°13'	52°04'	43			2
3	24/5/89	05°21'	52°01'	49	1	8	9,5
4	24/5/89	05°25'	51°56'	58	3	15	4
5	25/5/89	05°29'	51°53'	60			
6	25/5/89	05°33'	51°50'	67	1	14	17
7	25/5/89	05°38'	51°46'	69	6	28	2
8							
9	25/5/89	05°45'	51°40'	78		21	
10	25/5/89	05°50'	51°37'	81	15	126	22
11	25/5/89	05°53'	51°36'	92	91	477	
12	26/5/89	06°04'	52°00'	78	37	75	24
13	26/5/89	06°00'	52°03'	75	1		
14	26/5/89	05°52'	52°07'	70	1	1	
15	26/5/89	05°52'	52°11'	65	2	17	
16	26/5/89	05°47'	52°13'	58			
17	26/5/89	05°43'	52°16'	54	5	15	10
18	27/5/89	05°32'	52°08'	54	24	36	51
19	27/5/89	05°35'	52°04'	59	8	71	62
20	27/5/89	05°40'	52°00'	62			1
21	27/5/89	05°44'	51°58'	66	10	33	4
22	27/5/89	05°49'	51°56'	71		3,5	
23	27/5/89	05°54'	51°50'	80	15	171	15
24							
25	28/5/89	05°44'	51°23'	94	36	131	
26	28/5/89	05°44'	51°23'	93	13	18	
27	28/5/89	05°39'	51°27'	86	3	49	2
28	28/5/89	05°34'	51°30'	74	13	72	5
29	28/5/89	05°31'	51°32'	71	13	77	8
30	28/5/89	05°27'	51°36'	65	2	0,5	2,5
31	29/5/89	05°23'	51°38'	61			
32	29/5/89	05°19'	51°41'	60			
33	29/5/89	05°15'	51°44'	57	0,5	33	52,5
34	29/5/89	05°11'	51°47'	68	2	6	13
35	29/5/89	05°07'	51°50'	49	2	2	20

Campagne GV4

Trait N°	Date	Latitude nord	Longitude ouest	Profondeur (m)	L.P. kg/demi-heure	R.A. kg/demi-heure	L.S. kg/demi-heure
1	13/3/90	05°32'	51°20'	80	3,5	30	
2	13/3/90	05°35'	51°23'	82	2	12,5	
3	14/3/90	05°43'	51°25'	93	16,5	499	
4							
5	14/3/90	05°51'	51°39'	86	25,5	209	5,5
6							
7	14/3/90	05°57'	51°46'	75	2,5	281	23,5
8	14/3/90	05°59'	51°50'	85	0,5	30	2,5
9	14/3/90	06°00'	51°54'	78	3,5	38	4,5
10	15/3/90	05°14'	51°17'	70	7	49	3,5
11	15/3/90	05°11'	51°22'	64			
12	15/3/90	05°10'	51°34'	61	11	3	3,5
13	15/3/90	05°09'	51°44'	54	2,5	1	14