

COMPLEMENTARITE DES ANALYSES GLOBALE ET STRUCTURALE DANS L'ETUDE DE LA DYNAMIQUE DU STOCK DE VIVANEAU ROUGE DE GUYANE

Jean-Bernard Perodou

IFREMER, 1 rue Jean Vilar, 34200 SETE

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. Les coefficients de mortalité par pêche sont estimés à l'aide de la technique d'analyse des cohortes sur les tailles.

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

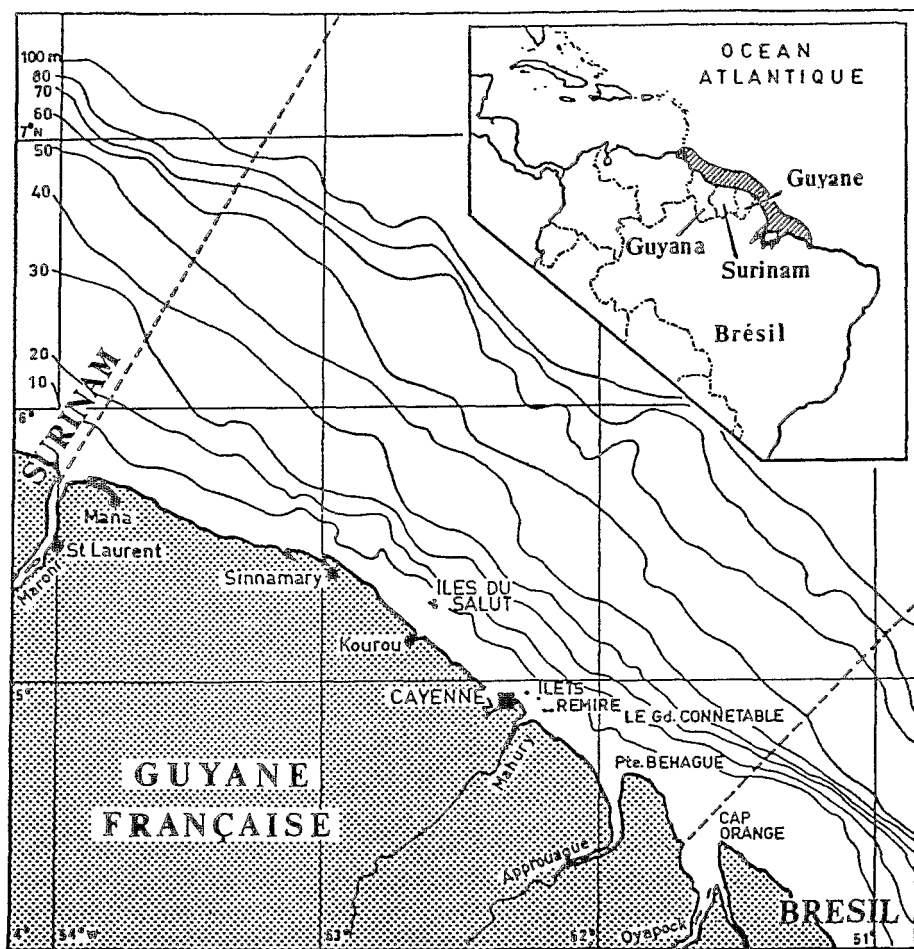
Southern red snapper 's population dynamic in French Guiana, exploited by a fleet of venezuelan handliners, is analysed with the help of global and analytical models. Then the complementary point of view of both analysis is examined with the measure of capturability coefficient.

The processing of CPUE by a three factors multiplicative model supplies three characteristics of elaborate 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. Fishing mortality rates are estimated with a length-cohort analysis.

Capturability coefficient varies with the ships, the seasonal and spatial strata, and fishes' lengths. 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*



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

I - INTRODUCTION

La pêche du vivaneau rouge (*Lutjanus purpureus*), de type monométier et monospécifique, est une activité traditionnelle des pêcheurs vénézuéliens. 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). L'exploitation a été marquée par le passage, en 1977, 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 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. En dernier lieu la complémentarité des deux analyses est examinée en calculant le coefficient q de capturabilité, obtenu en faisant le rapport entre le coefficient de mortalité par pêche F et l'effort de pêche 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 recalculer entre elles les deux analyses indépendantes - ce qui est rarement réalisé en dynamique des populations. On est alors en mesure de simuler numériquement les variations de production engendrées par des variations d'effort de pêche. Enfin, sur un plan pratique, un diagnostic de l'état du stock est présenté, dans lequel on fait ressortir des règles d'évolution de la population quand varie l'effort de pêche. Auparavant, deux principaux types de difficultés sont rencontrés :

1) La série historique de captures et d'efforts disponible (1987-1991) est trop courte (Fox, 1974) 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. En effet, les données présentent habituellement une composante aléatoire importante due aussi bien à des modifications de l'environnement qu'à des changements de capturabilité liés au comportement des pêcheurs et à la biologie des vivaneaux. D'autre part, après modification de l'effort de pêche, l'équilibre démographique est de nouveau atteint après une période égale au nombre de classes d'âge intervenant de façon significative dans les captures. Donc, si le modèle reste valide dans le cas d'un stock soumis à des conditions moyennes de pêche et d'environnement, sa description demande, en revanche, un nombre élevé de données de façon à couvrir l'ensemble des situations possibles. En attendant, il est utile d'avoir une réponse partielle qui tente de dégager la tendance vers laquelle évolue la production et d'estimer le niveau de la Prise Maximale Equilibrée et de l'effort correspondant.

2) 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 analyse de cohortes sur les âges n'a été encore publiée sur un stock de lutjanidés). 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 suppose le stock en équilibre dans lequel l'effort et le recrutement sont constants, alors que les situations de transition sont couramment rencontrées chez les espèces à vie longue comme le vivaneau rouge. Le problème est particulièrement grave ici puisque l'effort de pêche n'a fait que croître. La connaissance de la courbe de croissance est, de plus, requise.

II- MODELES UTILISES ET DONNEES DISPONIBLES

2.1 - Traitement des statistiques de pêche : présentation du modèle linéaire et des hypothèses requises

L'application du modèle linéaire à l'estimation des puissances de pêche et abondances apparentes est relativement ancienne (Robson, 1966). Pour la présente étude, la procédure est 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).

Soit un ensemble de N_b bateaux numérotés $i = 1$ à N_b . 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_{kj} et A_j , leurs logarithmes d_{kj} et a_j .

Chaque observation U est une PUE et $u = \ln U$. Elle est indicée par $l = 1$ à N_o , et se rapporte à un bateau $i(l)$, à une strate $j(l)$ et à une année $k(l)$. Un poids éventuel m_l peut lui être accordé. Avec ces notations le modèle à trois facteurs s'écrit :

$$U_l = D_{k(l)} \cdot P_{i(l)} \cdot A_{j(l)} \cdot E_l$$

soit après transformation logarithmique :

$$u_l = d_{k(l)} \cdot p_{i(l)} \cdot a_{j(l)} \cdot \varepsilon_l$$

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. Les abondances apparentes spatio-saisonnnières sont, comme les puissances de pêche, des grandeurs relatives. On posera par convention $A_1 = 1$, donc $a_1 = 0$, pour une strate $j = 1$ prise comme référence.

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.

2.2 - 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). 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 diagramme d'exploitation¹ 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.

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

2.3 - Estimation du taux de mortalité à partir d'une distribution en taille des captures (pseudo-cohorte)

A partir d'une distribution en âge d'une capture annuelle, on estime par la technique d'analyse des cohortes 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 $F = \{F_a\}$ 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 croissance 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 relation ignore la variabilité individuelle de croissance : elle modélise une croissance moyenne. La méthode est exposée en détails dans l'article de Laurec et Mesnil (1987).

Nous avons 2l inconnues mais seulement 2l -1 équations (l est l'indice de la dernière classe de longueur exploitée). Il y a donc une inconnue de trop. Pour lever l'indétermination on estime une valeur du coefficient F de la classe de longueur terminale. Puis, par rétrocalcul séquentiel, on résoud numériquement les équations. L'intérêt principal de la méthode 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 vers les vraies valeurs, d'autant plus rapidement que le taux d'exploitation est élevé. C'est la propriété dite "de convergence" de la méthode, l'erreur relative commise sur le taux d'exploitation de la classe terminale devenant négligeable quand on se rapproche des petites classes de taille. Cette propriété n'est pas obligatoire : si le taux d'exploitation est très faible dans les dernières classes de taille, il peut ne pas y avoir de convergence.

2.4 - Complémentarité des deux analyses

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 : pour chaque facteur, on choisit, parmi les modalités possibles, une modalité de référence. Puis, on calcule les capturabilités des différentes modalités relativement à la capturabilité de la 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 et les prévisions de capture sont faites dans des conditions standards.

2.5 - Les données nécessaires à la modélisation

Les données brutes nécessaires à la modélisation décrite précédemment sont composées :

- d'une série de productions annuelles consignées dans des fiches de débarquement officielles ;
- d'un ensemble de PUE et d'effort de pêche nominal par bateau, strate spatio-saisonnière 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-saisonnières).

La production annuelle est estimée par le nombre total de marées multiplié par la production moyenne des marées. Les productions des marées débarquées à Cayenne sont consignées dans des fiches de débarquement officielles. Elles sont fiables. Le nombre total des marées est estimé à partir du calendrier d'activité des bateaux. 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. Le coefficient de variation de cette estimation est de l'ordre de 1 %, ce qui est satisfaisant compte tenu des incertitudes qui pèsent sur les autres paramètres de la modélisation.

Les PUE et efforts de pêche sont obtenus 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-saisonnière 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 (voir carte). 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.* Ce défaut de connaissance dans l'activité de pêche peut ne pas être négligeable dans l'estimation des variations d'abondance, surtout quand ces variations sont de grande ampleur.

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-type est probablement une erreur de codage. D'autre part les estimations sont imprécises et fortement biaisées lorsque le nombre d'observations est faible, du fait de l'utilisation de la transformation logarithmique préalable des données (Laurent, 1963). Nous avons donc écarté les navires et strates spatio-saisonniers pour lesquels nous avons moins de 4 observations.

En définitive, 4153 PUE sont 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.

III- DYNAMIQUE DU STOCK DE VIVANEAU ROUGE

3.1 - Les puissances de pêche des navires et leur variation (Fig.1)

La distribution des puissances de pêche 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.

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 qui explique seulement 8 % de la variance des puissances de pêche des navires. Le test r de signification d'une corrélation indique que cette dernière existe si l'on admet 5 % de chances de se tromper. Par contre, si l'on exige 1 %, la corrélation est non-significative. Le port d'attache est bien connu comme étant un facteur d'hétérogénéité entre les bateaux, mais ici tous les ligneurs sont basés dans le même port d'attache, l'île de Margaritas. Finalement, nous expliquons simplement les variations de puissance de pêche par une différence de "savoir-faire" entre les pêcheurs.

* Appelons ces proportions respectivement p_r et p_p , et le temps de pêche t . La PUE est alors égale à Q/t et l'abondance réelle 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, la PUE surestime les variations d'abondance.

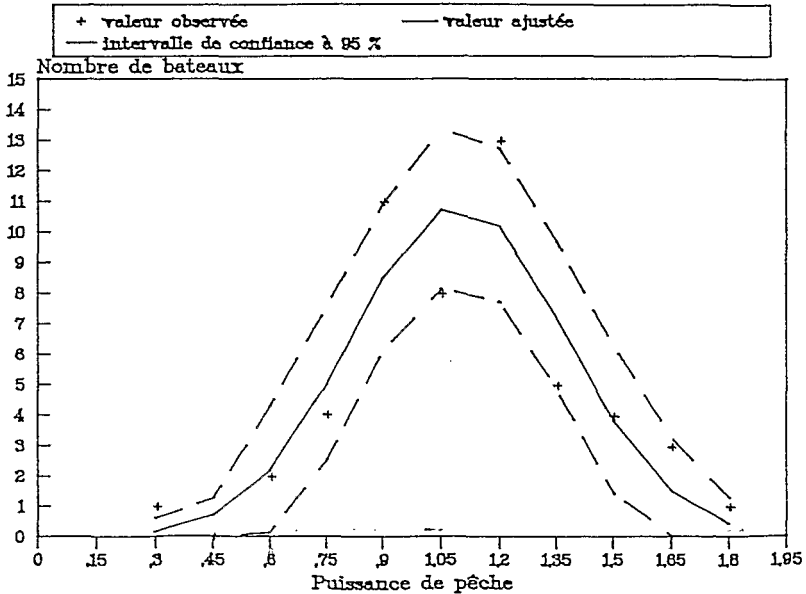


Figure 1 : Distribution des puissances de pêche des ligneurs. Ajustement des données à une fonction de Gauss.

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 compétition 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.

3.2 - Variabilité de l'abondance apparente de vivaneau rouge dans les strates spatio-saisonnnières (Fig.2)

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) : l'abondance croît avec la profondeur. Cette corrélation est bien marquée quel que soit le mois d'activité et reflète une stabilité saisonnière des conditions hydrologiques. L'influence de la profondeur a déjà été signalée par Anon. (1983), qui montre une corrélation positive entre la taille des poissons et la profondeur des lieux de pêche, les individus juvéniles étant circonscrits à la côte et les adultes au large.

En ce qui concerne les variations mensuelles, la figure 2 montre 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. Cette interaction entre les deux facteurs peut s'expliquer par une migration saisonnière d'une partie du stock.

Les variations mensuelles n'apparaissent pas assez marquées pour les relier à quelque facteur biologique. 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).

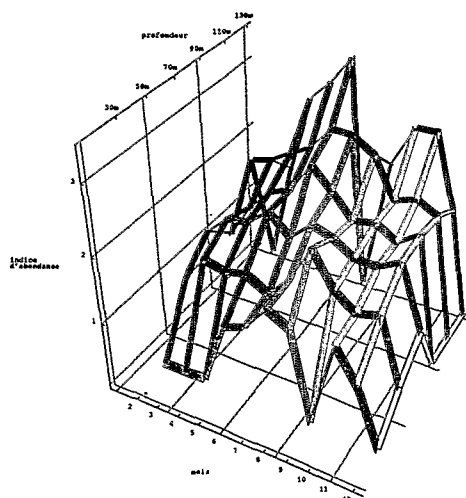


Figure 2 : Variabilité de l'indice d'abondance apparente des strates spatio-saisonnnières.

3.3 - Relation entre l'abondance apparente de vivaneau rouge et l'effort de pêche dans les strates spatio-saisonnnières (Fig.3)

L'effort de pêche est localisé préférentiellement entre 50 et 70m de profondeur, quel que soit le mois d'activité. 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 3 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.

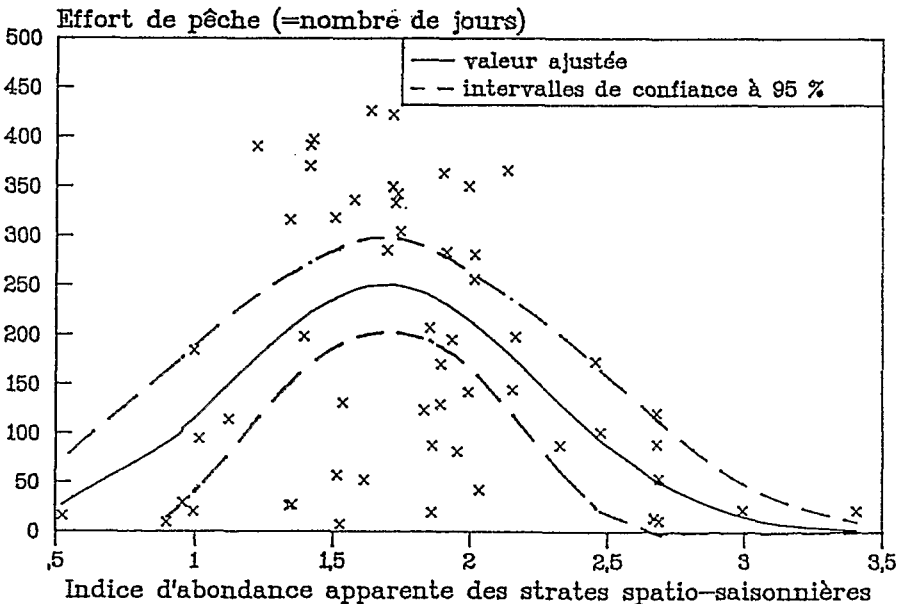


Figure 3 : Relation entre l'indice d'abondance apparente et l'effort de pêche des strates spatio-saisonnnières.

3.4 - Variabilité de l'abondance apparente annuelle de vivaneau rouge 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-saisonnière 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-saisonnière de référence pour obtenir la capture annuelle totale de la flottille.

Tableau 1 : 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.

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

Les résultats, présentés dans le tableau 1 ci-dessus, montrent que :

- 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-saisonnières 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.

3.5 - Analyse structurale : analyse des cohortes sur les tailles

3.5.1 - Croissance et longévité

Les lutjanidés présentent les traits démographiques des populations ayant une stratégie de type K par opposition au type r (Barbault, 1976) : ce sont des espèces à longévité élevée et croissance lente. Leur âge maximal moyen est de 10,5 ans, d'après Manooch (1987). Pour le vivaneau rouge de la côte nord-est du Brésil, Lima (1965) et Menezes et Geistera (1974) signalent une longévité de l'ordre de 15 ans.

Nous avons étudié la croissance et la longévité à partir des méthodes d'analyse modale appliquées à un ensemble de distributions en taille (Pérodou, 1994). Les principaux résultats obtenus sont les suivants :

- paramètres de l'équation de Von Bertalanffy : $K = 0,12 \text{ an}^{-1}$ et $L_{\infty} = 95 \text{ cm}$
- âge de première capture : environ 3 ans
- longévité : environ 13 ans
- nombre de classes d'âge contribuant significativement aux captures : 4 à 5 ans.

3.5.2 - Estimation des coefficients de mortalité par pêche

L'utilisation de l'analyse des cohortes sur les longueurs permet 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 figure 4 montre l'évolution de la distribution en taille des captures annuelles entre 1986 et 1991. Pendant cette période la moyenne et la dispersion des tailles se sont amenuisées (un test du Chi2 montre que ces modifications sont hautement significatives). C'est la conséquence logique de l'augmentation de l'effort de pêche sur cette même période.

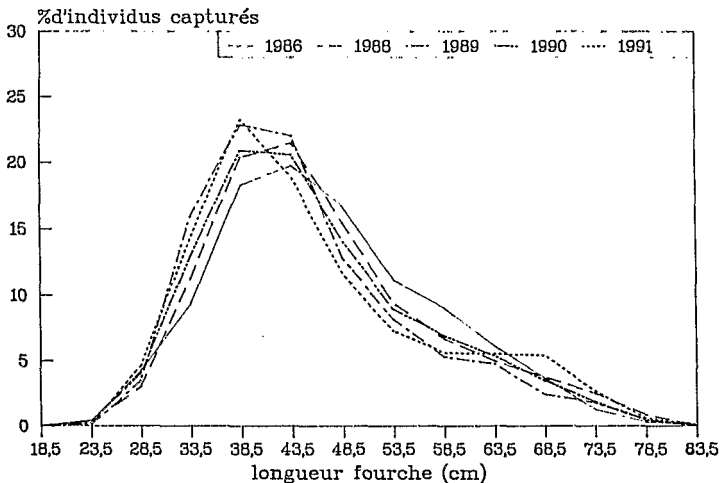


Figure 4 : Evolution des fréquences en taille des captures annuelles de vivaneau rouge, entre 1986 et 1991.

La distribution moyenne des captures des années 1989-1991 est choisie comme distribution de fréquences en longueur, de façon à atténuer les fluctuations du recrutement et du taux d'exploitation. Le coefficient de mortalité naturelle M est fixé à 0,2. Les calculs sont menés par rétrocalcul et initialisés en fixant une valeur au coefficient de mortalité F^+ de la classe de longueur terminale $L(l^+)$. Ils sont réalisés à l'aide du logiciel ANALEN mis au point par Chevaillier et Laurec (1990).

Le coefficient F^+ est choisi sur des considérations qui donnent une large part à l'allure de la fonction $F(i)$, notamment aux approches de la classe de taille $L(l^+)$. On observe, en effet, que les valeurs très fortes ou très faibles de F^+ conduisent à des variations très brutales dans cette région. La plage des valeurs possibles du coefficient F^+ va de 0,1 à 0,5 an^{-1} (Fig.5). La valeur recherchée est déterminée graphiquement : elle est choisie égale à 0,3 an^{-1} .

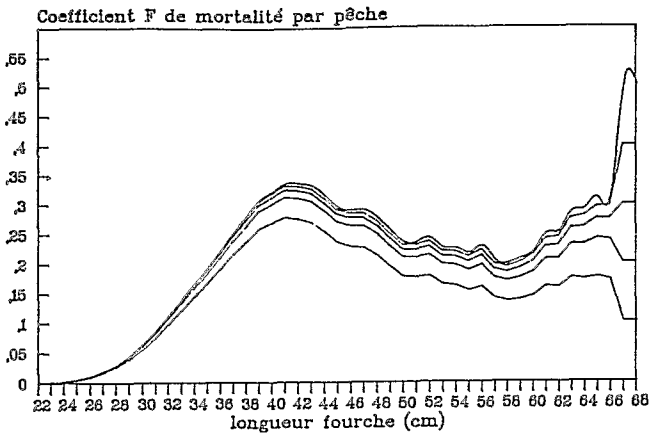


Figure 5 : Choix de la valeur du coefficient de mortalité par pêche de la dernière classe de taille et estimation des autres coefficients de mortalité par pêche.

La partie ascendante de la fonction $F(i)$ se situe entre 22 et 41 cm. Le coefficient $F(i)$ atteint 0,32 an^{-1} . Entre 42 et 60 cm le coefficient $F(i)$ diminue progressivement pour atteindre 0,20 an^{-1} , avec une valeur moyenne de 0,24 an^{-1} . Au delà de 60 cm le coefficient remonte avec une valeur moyenne égale à 0,26 an^{-1} . L'augmentation du coefficient $F(i)$ 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 au cours de l'année 1991.

L'utilisation de l'analyse des cohortes séparable (Pope et Sheperd, 1982), qui sépare les effets d'âge et d'année, permettrait d'enlever les poissons capturés hors de la ZEE guyanaise, sous réserve que la capturabilité relative à travers les âges (le diagramme d'exploitation) se répète au fil des années. Les classes de taille du diagramme d'exploitation peuvent se diviser en quatre parties qui sont, à partir de la classe la plus petite, les suivantes :

- 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 dont l'évolution de la mortalité est masquée par la présence d'individus capturés hors de la ZEE : ou bien la mortalité est constante jusqu'à la dernière classe de longueur, ou bien elle est décroissante, la capturabilité diminuant avec la longueur chez les poissons les plus âgés.

L'analyse des cohortes séparable pourrait être appliquée ultérieurement à l'aide de distributions en taille provenant uniquement de la ZEE guyanaise de façon à lever l'indétermination qui subsiste dans le diagramme d'exploitation, notamment dans les dernières classes de taille.

3.5.3 - Validité de l'estimation des coefficients de mortalité par pêche

La méthode d'analyse des cohortes 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 l'ordre de 13 ans, cette condition n'est satisfaite que dans les 4 ou 5 premières classes d'âge, mais non au delà. Cette méthode doit donc être considérée ici comme un simple moyen auquel 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. Mais, les nombreuses classes d'âge qui constituent 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 croissance 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'_y sera égal à :

$$N_y = R \cdot e^{-(q \cdot \sum_{i=1}^y (f_i) + y \cdot M)}$$

$$N'_y = R \cdot e^{-(q \cdot (f_l) + y \cdot M)}$$

$$\text{comme } \sum_{i=1}^y (f_i) < y \cdot f \Rightarrow N'_y > N_y$$

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.**

Une observation suggère, 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.

3.6 - Complémentarité des deux analyses : les limites de l'intensification de l'exploitation actuelle du vivaneau rouge

3.6.1 - Choix d'un modèle global : le modèle exponentiel

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, ce qui rend difficile l'interprétation des résultats. D'où la nécessité de recourir aux connaissances de la biologie de l'espèce pour imposer des contraintes, en particulier sur l'exposant m qui, dans la théorie de Pella-Tomlinson, est lié à la relation stock-recrutement.

Nous avons opté pour le modèle exponentiel ($m=1$) qui fait décroître la biomasse moins vite que le modèle de Schaefer ($m=2$). En effet, une quantité de biomasse est inaccessible à la pêcherie. Nous avons vu que les plus gros poissons vivent hors des lieux de pêche habituels (hors ZEE ou dans la ZEE mais en profondeur). La biomasse exploitée n'est qu'une partie de la biomasse totale qui participe au renouvellement de la population. Ainsi cette **biomasse cryptique**, en supposant un faible taux de mélange entre le large et la côte, confère au stock une plus forte aptitude à supporter une pêche importante (Laloë, 1988, Die et al., 1990).

Il reste donc trois paramètres à estimer : q, K et H. La détermination du coefficient q s'obtient en faisant le rapport entre le coefficient de mortalité par pêche et l'effort de pêche dans des conditions standards. Les deux paramètres restants (K et H) sont déterminés par ajustement des données à un modèle global.

3.6.2 - Estimation du coefficient de capturabilité

Le coefficient de mortalité standard s'obtient en faisant la moyenne des coefficients de mortalité 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 : $f^* = 5561 \text{ jours}$.

On en déduit la valeur du coefficient de capturabilité standard en appliquant l'équation $F^* = q \cdot f^*$: $q^* = 4,68 \cdot 10^{-5} \text{ jours}^{-1}$.

3.6.3 - Estimation des autres paramètres de l'équation

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 (r = rapport entre la biomasse au moment de la première observation et la biomasse maximale du stock) :

Tableau 2 : Valeurs initiales et intervalles d'exploration des inconnues de l'équation.

Coeff. de capturabilité	Paramètres	FM	UM	r
$q = + 0,46 \cdot 10^{-5}$	Valeurs initiales	3000	300	0,8
	Valeurs inférieures	1000	100	0
	Valeurs supérieures	4000	700	1

Sur la figure 6 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 et les points remarquables sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 3 : Estimation des paramètres et des points remarquables de l'équation.

Coeff. de capturabilité	EM(j)	PME(t)	-K	-H	R
$q = + 0,46 \cdot 10^{-5}$	3064	640	1,29056	6,62983	0,48

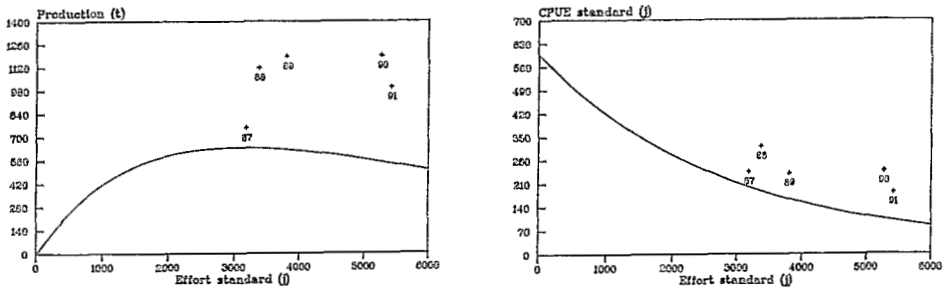


Figure 6 : Evolution de la production (à gauche) et de la PUE standard (à droite) en fonction de l'effort de pêche standard

3.6.4 - 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 en 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 état d'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 à un effort proche de celui de l'année 1987, ce qui équivaut à une baisse de l'ordre de 40% de l'effort de l'année 1991.

Le stock présente un délai de réponse élevé correspondant à la durée de la phase exploitée. 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.

CONCLUSION

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) pour une espèce dont la durée de la phase exploitée est longue (11 ans) ;
- l'impossibilité de réaliser de vraies analyses structurales ;
- 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. Ensuite, le diagnostic apparaît solide malgré l'incertitude qui persiste sur certains paramètres, surtout si on évite d'attacher trop d'importance à l'aspect quantitatif : 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.

On peut conclure aujourd'hui que l'exploitation a été raisonnablement prometteuse et que la PME serait dépassée pour l'effort de pêche actuel. 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. 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. Cette notion d'équilibre doit être regardée comme une situation simple vers laquelle tend le stock - de manière asymptotique - et qui permet de faire des extrapolations et des prévisions.

D'autre part, nos observations ont montré qu'une fraction des adultes de grande taille vivent hors des lieux de pêche habituels, hors ZEE et dans la ZEE mais en profondeur. Cette biomasse cryptique participe au renouvellement de la population et apporte au stock une plus grande aptitude à supporter une pêche importante. A l'avenir, pour prendre en compte cette fraction inaccessible de la biomasse, le suivi de

la pêche pourrait être étendue, dans le cadre d'une coopération internationale, à l'ensemble du plateau des Guyanes, de l'Amazonie à l'Orénoque, de façon à comparer les pêcheries de vivaneaux entre elles, et à tenir compte de leurs interactions techniques et biologiques.

Remerciements : Je remercie S. Frontier qui m'a fait part de nombreux commentaires sur cet article. Je remercie également A. Caverivière et A. Fonteneau pour leurs critiques et suggestions fructueuses dans la relecture du manuscrit.

REFERENCES

- Anonyme, 1983. 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.
- Barbault R., 1976. La notion de stratégie démographique en écologie. *Bull. Ecol.*, 7, 4, 373-390.
- 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.
- Die D.J., V. R. Respreto and W. W. Fox, 1990. Equilibrium production models that incorporate fished area. *Trans. Amer. Fish. Soc.* 119 : 445-454.
- Fox W. W., 1974. An overview of production modelling. ICCAT workshop on tuna population dynamics. Nantes, France, *Rec. Doc. Scient.*, 3, : 142:156.
- Frontier S., D. Pichot-Viale, 1991. Ecosystèmes : structure, fonctionnement, évolution. *Masson, collection d'Ecologie*, 392p.
- Gavaris S. 1980. Use of multiplicative model to estimate catch rate and effort from commercial data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37, 2272-2275.
- Laloë F., 1988. Un modèle global avec quantité de biomasse inaccessible liée aux conditions environnementales : application aux données de la pêche ivoiro-ghanéenne de *Sardinella aurita*. *Aquat. Living. Resour*, 1, 289-298.
- 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 a 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 CNEXO*.
- 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.
- Laurent A.G., 1963. Lognormal distribution and the translation method : description and estimation problems. *J. Americ. Statist. Assoc.*, 58, 231-235.
- Lima F.R., 1965. Crescimento do pargo (*Lutjanus aya*, Bloch, 1795) no Nordeste Brasileiro. *bol. EST. Pesca, Recife*, 5,(2),33-42.
- 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 and S. Ralston. *Westview press, Boulder and London*, 659p.
- Menezes M.F., T.C.V. Geistera, 1974. Idade e crescimento do pargo, *Lutjanus purpureus* Poey, do norte e nordeste do Brasil. *Arq. Cién. Mar.*, 14(2), 81-85.
- Perodou J.B., 1994. Dynamique de la population exploitée de vivaneau rouge (*Lutjanus purpureus*) de Guyane. Complémentarité des analyses globale et structurale. Thèse de doctorat. Université des Sciences et Techniques de Lille.
- Pope J.G., and J. Sheperd, 1982. A simple method for the consistent interpretation of catch-at-age. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 40 : 176-184.
- Robson D.S. (1966). Estimation of the relative fishing power of individual ships. *ICNAF Res. Bull.* n° 3, 14p.
- 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.