

Modélisation de la dynamique des stocks exploités par la pêche artisanale sénégalaise : intérêt, limites et contraintes de l'approche structurale

D. Gascuel.

RÉSUMÉ :

Aucune approche structurale de la dynamique des stocks exploités par la pêche artisanale sénégalaise n'a été mise en oeuvre jusqu'à ce jour. On rappelle ici le principe et les hypothèses sous-jacentes de chacune des trois étapes de ce type d'approche : (i) l'estimation des paramètres démographiques du stock et la modélisation du "passé", par l'analyse des cohortes ; (ii) le diagnostic sur la situation présente et la prévision à long terme, par le calcul des rendements par recrue ; (iii) les prédictions de captures et d'effectifs, par les méthodes de simulation. On montre quels seraient l'intérêt et les limites de chacune de ces étapes. Les difficultés et contraintes que présenterait leur application, dans le cas des pêches artisanales sénégalaises, sont analysées. On insiste notamment sur la nécessité de recherches méthodologiques, concernant l'estimation des paramètres et les procédures de calibration de l'analyse des cohortes. Compte tenu des données disponibles et des caractéristiques d'instabilité des ressources et d'adaptabilité des pêcheries, l'approche structurale apparaît en définitive d'un intérêt potentiel majeur, tant pour l'établissement de diagnostics d'aide à la gestion des stocks, que comme moyen d'étude de la dynamique du système pêche.

ABSTRACT :

Age structured analysis has not yet been carried out in the case of stocks exploited by artisanal senegalensis fishery. The principle and underlying hypotheses are recalled, for each of the three steps of this kind of approach : (i) the demographic parameter estimation and the modelling of the past events, by using virtual population analysis ; (ii) the diagnostic on the current state and the long-term forecasting, by calculating yields per recruit ; (iii) the short-term predictions of catches and stock size, by simulation methods. We show what interest and limits of each of those steps could be. Difficulties and constraints of their application are analysed when applied to artisanal senegalensis fisheries. The need of methodological researches, dealing with parameter estimation and tuning procedures of VPA, is highlighted. Depending on the available data, the instability of some resources, and the fishery adaptability, the age structured analysis seems to be of a major potential interest to draw up useful diagnostics in stock management, and to study the fishery system dynamics as well.

INTRODUCTION

A l'exception de quelques travaux préliminaires très partiels, les recherches concernant l'évaluation des stocks exploités par la pêche artisanale sénégalaise, se sont jusqu'à présent appuyées exclusivement sur l'approche dite globale de la dynamique des populations. Il serait trop long (...et hors sujet) d'analyser les potentialités et limites de cette approche, ainsi que les développements méthodologiques dont elle a fait l'objet au sein du CRODT (Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye). On retiendra simplement qu'elle se heurte ici à un certain nombre de difficultés, soulignées par les différents auteurs (cf. notamment Cury et Roy 1991, Fréon 1986, Laloë et Samba 1989 et 1991), et qui sont fondamentalement liées à deux caractéristiques majeures de ces pêcheries : d'une part, la forte instabilité des ressources exploitées (ou au moins d'une fraction importante de ces ressources) et, d'autre part, la forte adaptabilité des pêcheurs concernés (ceci rend en particulier problématique toute quantification de l'effort de pêche).

Dans le même temps, le CRODT a organisé la récolte des données de mensuration

des captures, au travers d'un réseau d'échantillonnage stratifié par mois ou quinzaine, par port de débarquement ou par région, et par engin de pêche (Ferraris 1993, Samb et al 1993). On dispose ainsi d'une base de données couvrant approximativement les 15 dernières années et regroupant les estimations de captures par classe de taille pour les principales espèces. Ce sont là les données nécessaires (mais non suffisantes) pour la modélisation de la dynamique de ces stocks par l'approche structurale (ou approche structurée par âge).

On analysera ici les potentialités de cette approche dans le cas des pêches artisanales sénégalaises, en cherchant à préciser deux aspects :

- l'intérêt et les limites des méthodes usuelles ; autrement dit, à quel type de questions permettent elles ou ne permettent-elles pas de répondre ?
- les difficultés et contraintes de ces méthodes ; autrement dit, qu'est-ce qui pose et qu'est-ce qui ne pose pas problème pour leur mise en oeuvre ?

On s'attachera successivement aux trois étapes fondamentales de l'approche structurale : l'analyse des cohortes (dite aussi analyse séquentielle des populations), le calcul des rendements par recrue, et les simulations de captures à court et long terme (Figure 1). Pour la clarté de l'exposé : on raisonnera dans le cadre d'une analyse conduite sur une base de temps annuelle (le passage à une base de temps plus courte, par exemple le trimestre, ne pose pas de difficultés méthodologiques particulières) ; les problèmes concernant l'approche pluri-spécifique ne seront envisagés (brièvement) qu'à la fin du document.

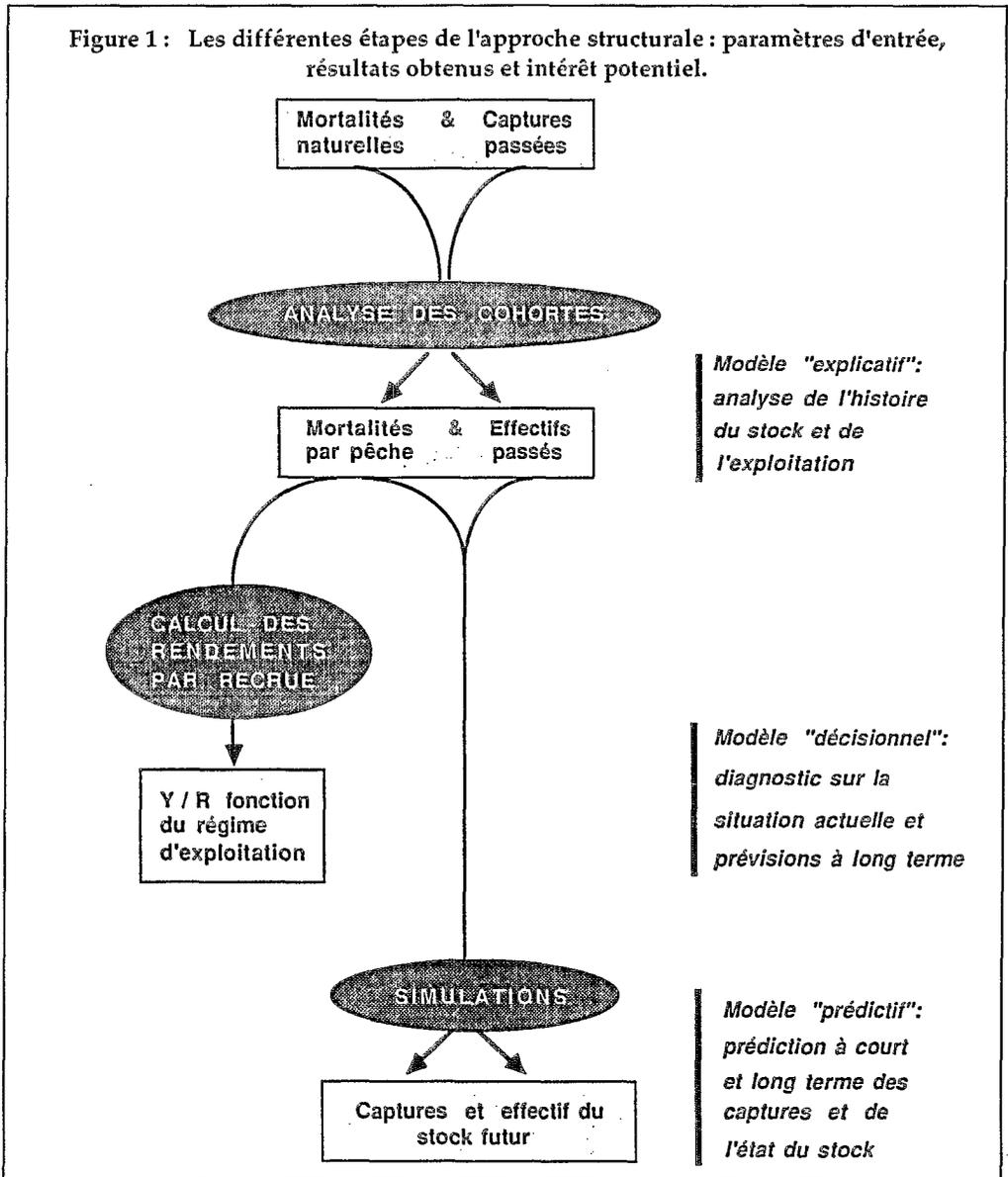
ESTIMATION DES PARAMÈTRES DÉMOGRAPHIQUES ET MODÈLE EXPLICATIF : L'ANALYSE DES COHORTES

Rappel des principes et méthodes de base

L'analyse des cohortes (Gulland, 1965) est d'abord une technique d'estimation des taux instantanés de mortalité par pêche F , intervenus au cours des années passées. Ces mortalités mesurent la pression réelle exercée sur le stock et sont en ce sens, et sur un plan théorique, la seule mesure parfaitement exacte de l'effort de pêche effectif (Laurec et Le Guen, 1981). Les estimations de mortalités F des années les plus récentes constituent en particulier un résultat essentiel de l'analyse : elles sont utilisées comme variables d'entrée dans les étapes ultérieures de diagnostic et de prévisions (Figure 1). L'analyse des cohortes conduit également à estimer les effectifs du stock au cours des années passées. Ici aussi, les résultats de cette étape seront utilisés comme variables d'entrée dans les étapes ultérieures.

L'analyse des cohortes est ainsi une méthode d'estimation des paramètres démographiques du stock, préalable incontournable à tout diagnostic et à toute modélisation prédictive et décisionnelle par l'approche structurale (Mesnil, 1980). Elle constitue, en outre, et ce point sera développé plus loin, un modèle explicatif extrêmement puissant pour étudier l'histoire passée du stock et de son exploitation.

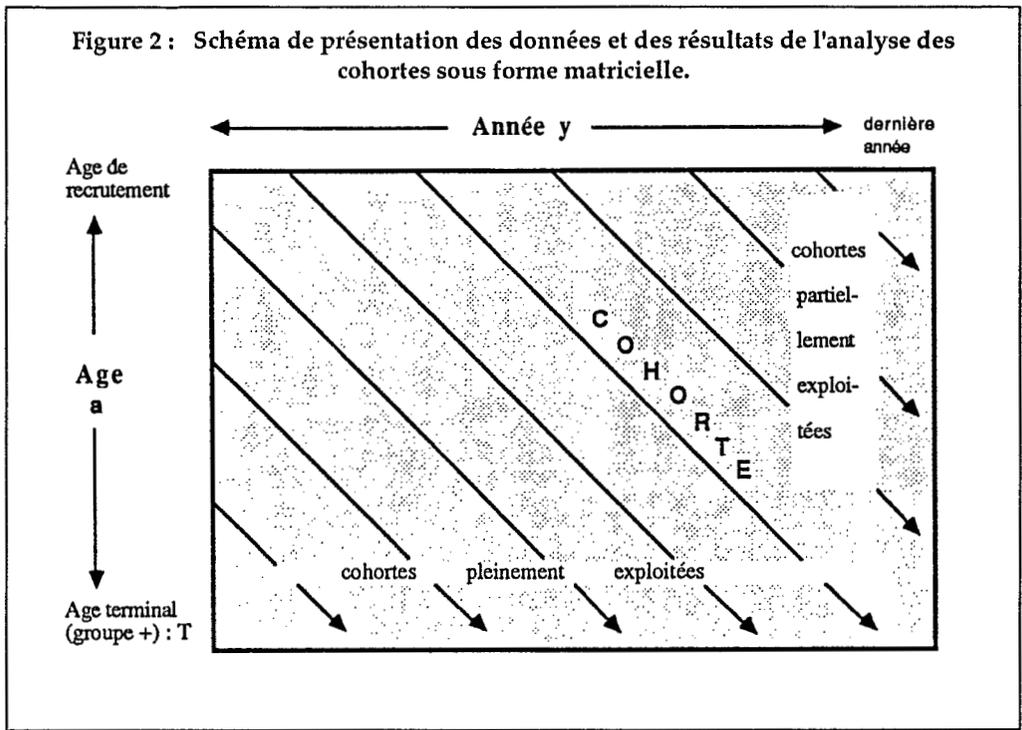
Figure 1 : Les différentes étapes de l'approche structurale : paramètres d'entrée, résultats obtenus et intérêt potentiel.



Rappelons brièvement comment cette analyse fonctionne. Les données comme les résultats peuvent être présentés sous forme de matrices dont les colonnes correspondent aux années et les lignes aux groupes d'âge (Figure 2). Chaque cohorte, suivie d'année en année et d'âge en âge, se positionne sur la matrice le long d'une diagonale.

La seule hypothèse initialement requise par la méthode est la suivante : les taux instantanés de mortalité (naturelle, par pêche, et donc totale) d'une cohorte donnée sont constants au cours d'un intervalle de temps donné (*i.e.* ici l'année). On déduit de

cette hypothèse deux équations fondamentales, dites équation de survie et équation des captures ⁽¹⁾.



Pour chaque cohorte considérée isolément des autres, on montre dès lors (Figure 3) que les effectifs du stock par groupe d'âge N_a et les mortalités par pêche F_a se déduisent de la connaissance des captures C_a et des mortalités naturelles M_a . Le "dénombrement des cadavres par pêche", corrigé d'une mortalité naturelle, permet ainsi de reconstituer l'histoire de la cohorte, c'est à dire d'évolution de ses effectifs en fonction de l'âge.

Le système d'équation correspondant présente cependant une indétermination. Un paramètre supplémentaire doit donc être précisé. Ce peut être au choix : soit l'effectif au recrutement (on parle alors d'analyse descendante ou de calcul en mode

(1) L'équation de survie exprime l'effectif "instantané" (i.e. en début de l'intervalle de temps) du groupe d'âge d'une cohorte donnée, en fonction de l'effectif du groupe d'âge précédent. Soit :

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \cdot e^{-(F_{a,y} + M_{a,y})}$$

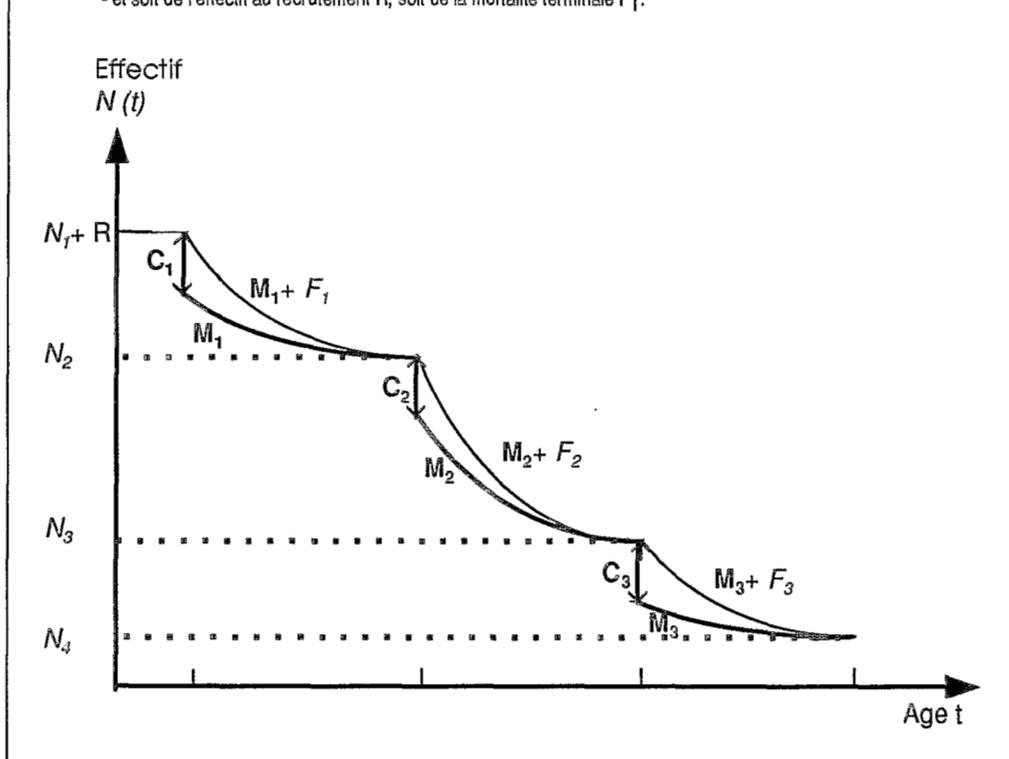
L'équation des captures exprime les captures effectuées sur un groupe d'âge, en fonction de l'effectif de ce groupe en début d'intervalle. Soit :

$$C_{a,y} = N_{a,y} \cdot \frac{F_{a,y}}{F_{a,y} + M_{a,y}} \cdot [1 - e^{-(F_{a,y} + M_{a,y})}]$$

direct) ; soit la mortalité F_T du groupe d'âge terminal (on parle alors d'analyse ascendante ou de calcul en mode inverse).

Figure 3 : Principe de l'analyse des cohortes : paramètres d'entrée (en gras et lignes pleines) et résultats obtenus (en italiques et lignes pointillées). Ce schéma montre que les mortalités par pêche F_a et les effectifs du stock N_a se déduisent de la connaissance :

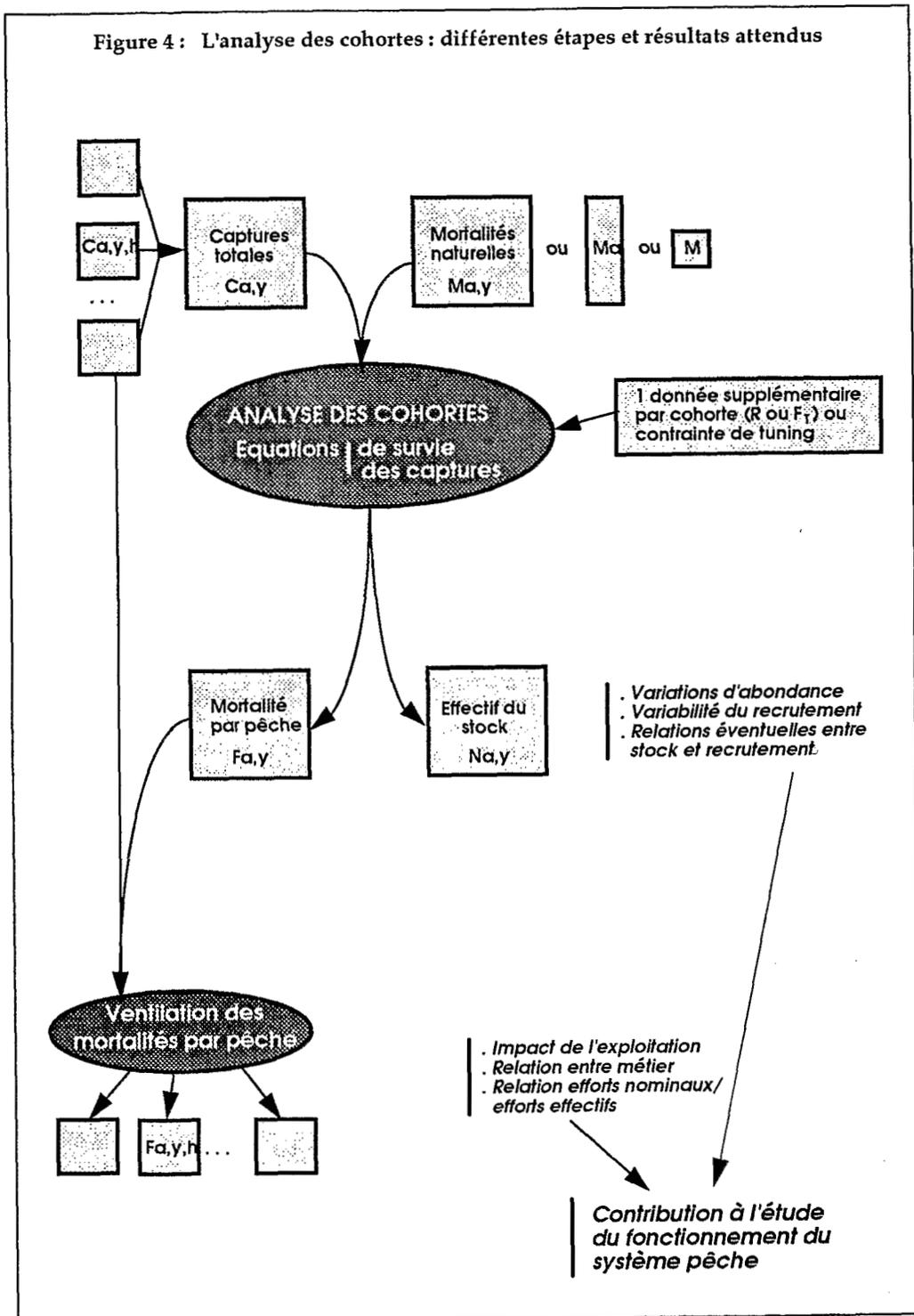
- des captures C_a (ici représentées en début d'année par convention),
- des mortalités naturelles M_a ,
- et soit de l'effectif au recrutement R , soit de la mortalité terminale F_T .



Lorsqu'on raisonne sur un tableau complet, en prenant en compte l'ensemble des cohortes qui constituent chaque année le stock, les matrices de capture $C_{a,y}$ et de mortalité naturelle $M_{a,y}$ permettent d'estimer de la même manière les matrices d'effectifs du stock $N_{a,y}$ et de mortalités $F_{a,y}$. Comme précédemment, le calcul doit être initialisé, soit par une série de recrutements R_y , soit par une série de mortalités terminales $F_{T,y}$ (Figure 4).

Le calcul en mode direct est très rarement recommandé, compte tenu de la très forte sensibilité des estimations obtenues, à la valeur introduite pour le recrutement de chaque cohorte. A l'inverse, on montre que les estimations obtenues en calcul inverse convergent vers les valeurs vraies d'un groupe d'âge au groupe d'âge précédant (Pope, 1972). Autrement dit, l'introduction de valeurs $F_{T,y}$ erronées peut conduire, dans certaines limites, à des estimations valides des $F_{a,y}$ et $N_{a,y}$.

Figure 4 : L'analyse des cohortes : différentes étapes et résultats attendus



Dans le cas des cohortes partiellement exploitées, c'est-à-dire pour les estimations des années récentes, on rencontre cependant une difficulté supplémentaire. En effet, le calcul doit ici être initialisé par les mortalités par pêche non plus de l'âge terminal mais de la dernière année. Ceci revient à dire que l'un des résultats essentiels recherchés doit au préalable être introduit comme paramètre d'entrée de l'analyse ! C'est pour résoudre cette contradiction que l'on fait appel aux procédures de calibration ou "tuning" de l'analyse des cohortes.

Ces procédures constituent souvent le point clé de l'analyse. Schématiquement, elles consistent à utiliser une variable auxiliaire pour rechercher le vecteur F_a de dernière année le plus "satisfaisant". Usuellement, trois types de calibration sont utilisés, en cherchant à minimiser, par des méthodes statistiques adéquates, l'écart entre :

- la matrice des $F_{a,y}$ estimés et un vecteur ligne d'effort de pêche f_y ;
- la matrice des $N_{a,y}$ et la matrice des prises par unité d'effort $U_{a,y}$;
- la matrice des $N_{a,y}$ et une matrice d'indices d'abondances $I_{a,y}$ (établis, par exemple, à partir de campagnes de pêche expérimentales).

Enfin, notons que les mortalités $F_{a,y}$ peuvent être "ventilées" par engin de pêche ou par métier, au prorata des captures effectuées par chacun (Figure 4). C'est d'ailleurs à partir des ces mortalités $F_{a,y,h}$ que l'analyse des cohortes est généralement calibrée. Cette analyse débouche en outre sur l'étude des interactions entre métiers.

Application de l'analyse des cohortes à la pêche artisanale sénégalaise

Avant toute analyse, se pose le problème du choix des échelles spatio-temporelles. Par principe, l'estimation doit être conduite à l'échelle de l'ensemble du stock considéré ⁽²⁾. Elle doit donc prendre en compte simultanément les captures de la pêche artisanale et celles de la pêche industrielle. Des procédures d'extrapolation doivent, en outre, être utilisées pour estimer les captures des flottilles dont les statistiques seraient indisponibles (c'est essentiellement le cas des flottilles des pays riverains). Ces procédures existent ; en revanche, leur mise en oeuvre constitue indiscutablement une première source d'incertitude dans l'établissement des diagnostics.

Le choix d'un intervalle de temps unitaire doit également être précisé pour chaque espèce. Généralement, ce choix n'est cependant guère problématique. Dans le cas présent, un intervalle trimestriel serait très vraisemblablement satisfaisant pour la plupart des stocks, au moins pour une première approche.

(2) Le choix des limites du stock est toujours un problème délicat qui dépasse le sujet de cette communication. On rappellera simplement ici la recommandation générale de Laurec et Le Guen (1981). "Le caractère pragmatique de la définition du stock comme unité de gestion doit rester présent à l'esprit pour aborder le classique dilemme : doit-on commencer par considérer comme stock-unité un vaste ensemble, au besoin subdivisé ultérieurement, ou lancer avant toute évaluation une étude pour identifier toutes les sous-populations possibles ? Pour whichever a quelque pratique de la gestion des stocks, la réponse s'impose : la seule voie concevable est la première."

La matrice des captures $C_{a,y}$ constitue ensuite la donnée de base de toute l'analyse. Généralement, elle se déduit des estimations des captures par classe de taille au moyen de clés taille/âge établies par lecture directe de l'âge. Dans le cas de la pêche artisanale sénégalaise, seules des données âge relativement anciennes et ne concernant que quelques espèces sont disponibles. On devra donc utiliser soit des méthodes de décomposition polymodales, soit un simple "slicing", en s'appuyant sur les données de croissance qui existent. La méthode d'ajustement des clés taille/âge en fonction des variations d'abondance des cohortes (Gascuel, à par.) pourra sans doute se révéler utile. Parallèlement, il conviendra d'estimer les rejets, sans doute non négligeables notamment dans le cas de la pêche industrielle.

La matrice des mortalités naturelles $M_{a,y}$ est très généralement réduite à un vecteur de mortalités par âge M_a considéré constant d'année en année, voire souvent à une valeur unique M supposée égale pour tous les âges. Dans tous les cas, l'estimation de cette mortalité reste difficile. Le recours à des formules empiriques (type relation de Pauly) doit impérativement être complété par des études de sensibilité des estimations.

Concernant la calibration de l'analyse, les difficultés de toute quantification d'un effort de pêche effectif, à partir des données d'effort nominal de la pêche artisanale sénégalaise, rendent *a priori* périlleuse une quelconque tentative de "tuning" sur un vecteur d'effort de pêche ou sur une matrice de PUE déduite de l'effort. Il semble donc nécessaire de recourir à des données externes à la pêche artisanale. La pêche industrielle fournit de ce point de vue des statistiques précieuses, dans la mesure où la quantification de l'effort y est sinon aisée, en tous cas moins hasardeuse.

Cette démarche passe par : la standardisation des puissances de pêche développées par la pêche industrielle ; l'estimation d'indices d'abondances $I_{a,y}$, en utilisant notamment les méthodes usuelles de modélisation linéaire généralisée ; les études de sensibilité des résultats de l'analyse des cohortes à l'estimation de ces indices d'abondance.

On retiendra de ce qui précède que deux aspects doivent faire l'objet d'une recherche méthodologique particulière : d'une part, la conversion des structures de tailles des captures en structures d'âges et, d'autre part, la calibration de l'analyse des cohortes. Outre ces aspects, on notera également comme principales sources potentielles d'incertitudes dans les diagnostics : les procédures d'extrapolations des captures, l'évaluation des rejets et l'estimation des mortalités naturelles.

Fondamentalement, l'analyse doit s'appuyer, dans un premier temps, sur un ensemble d'hypothèses contraignantes et d'estimations plus ou moins grossières. Il en découlera nécessairement des incertitudes, dont l'importance relative peut et doit être analysée par des études de sensibilité. Deux remarques essentielles s'imposent à ce niveau.

- 1) Comme le soulignent notamment Laurec et Le Guen (1981), la démarche consistant à partir d'hypothèses simples est généralement la plus fructueuse sur un plan scientifique. Elle aboutit à des diagnostics simples qui sont ensuite affinés au fur et à mesure que les paramètres utilisés peuvent être estimés de manière plus fiable. "En prenant la voie inverse (i.e. rechercher

d'abord à affiner l'estimation des paramètres) on risque d'attendre si longtemps pour parvenir à une conclusion, que les stocks auront beaucoup souffert."

- 2) Pour cause de convergence de l'analyse, et sous réserve que l'exploitation soit relativement intense, les diagnostics concernant les cohortes pleinement exploitées sont généralement robustes. Pour une large part, l'incertitude concerne les années récentes (le diagnostic en temps réel). Ceci n'exclut alors pas que des résultats essentiels, voire des recommandations de gestion, puissent être établis, à partir des estimations concernant les années antérieures ⁽³⁾.

Que peut-on en définitive attendre de cette première étape de l'analyse structurale ? D'abord, bien évidemment, une estimation des paramètres utilisés dans les étapes ultérieures. Ensuite, un ensemble de données (effectifs du stock $N_{a,y}$ et mortalités par pêche $F_{a,y,h}$) particulièrement utiles pour l'analyse descriptive de l'histoire de la pêcherie (Figure 4). Enfin, une base de connaissances utiles pour la compréhension de la dynamique du stock étudié.

Ce dernier point est sans doute essentiel et justifie que l'analyse des cohortes puisse être qualifiée de modèle explicatif. La variabilité du recrutement peut, par exemple, être analysée. Sans doute plus important : la connaissance des mortalités par pêche F peut être à la base de recherches concernant les relations entre efforts de pêche nominal et effectif. Dans le cas de la pêche artisanale sénégalaise, les travaux antérieurs (Laloë et Samba 1989 et 1991) ont conduit à souligner l'importance des changements de stratégies et de tactiques de pêche des flottilles. Ces changements ont évidemment des répercussions sur les puissances de pêche spécifiques. En revanche, les relations entre : effort nominal, occurrence des stratégies et des tactiques de pêche, et effort effectif n'ont jusqu'à présent pas pu être clairement analysées, et encore moins quantifiées ou modélisées. Une des raisons essentielles en est, bien sûr, l'absence de toute estimation un tant soit peu fiable de l'effort effectif. C'est cette absence que l'analyse des cohortes peut contribuer à combler. Potentiellement, son intérêt dépasse ainsi le seul diagnostic (l'expertise).

DIAGNOSTIC ET PRÉVISIONS À LONG TERME : LE CALCUL DES RENDEMENTS PAR RECRUE

Un principe de base : l'absence de relation stock/recrutement

Le diagnostic s'appuie, dans le cas de l'approche structurale, sur l'idée fondamentale suivante : le recrutement d'un stock ne dépend très généralement pas de l'abondance des géniteurs dont il est issu ; il est par conséquent indépendant de l'intensité

(3) Citons Laurec (1990). Avec l'analyse des cohortes, "on dispose d'un outil excellent pour dire : il y a 5 ans le stock était surexploité. Diagnostiquer ce qui se passe en temps réel est beaucoup plus difficile. (...) En revanche, lorsque l'on sait qu'entre temps le nombre de bateaux s'est accru, et que les techniques se sont améliorées, alors l'incertitude qui existe ne remet pas en cause le fait que le stock est lourdement exploité et qu'il faut intervenir."

et des caractéristiques de la pêcherie, c'est-à-dire de ce qu'on appelle le régime d'exploitation ⁽⁴⁾. Trois remarques sur cette idée de base.

- 1) Elle peut *a priori* paraître paradoxale. Elle est cependant largement validée par l'expérience et s'explique, en réalité, assez bien, compte tenu de l'énorme variabilité qui affecte les phases pré-recrutées. Les sources de variabilité, en liaison notamment avec l'environnement biotique et abiotique, sont ici infiniment plus déterminantes que l'abondance même des géniteurs. Elles peuvent se traduire, selon les espèces, par des recrutements soit relativement constants (ressources stables), soit au contraire très variables (ressources instables), mais qui, dans tous les cas, restent largement indépendants du régime d'exploitation.
- 2) En dehors de quelques cas particuliers (essentiellement les espèces à fécondité très réduite, type mammifères marins, et des espèces à comportement territorial très marqué), l'absence de relations entre stock de géniteurs et recrutement ne souffre guère qu'une seule exception d'envergure. C'est celle des stocks exploités de manière exceptionnellement intense. En poursuivant le raisonnement jusqu'à sa limite, il est en effet clair qu'un stock nul produit un recrutement nul. Pour autant, ce phénomène qualifié de "recruitment over-fishing" est très généralement sinon secondaire du moins second, en matière de gestion raisonnée des ressources ; lorsqu'une pêcherie se développe, d'autres problèmes se posent avant que n'intervienne le "recruitment over-fishing". Les espèces menacées sont finalement très rares ; les pêcheries menacées le sont beaucoup moins.

Notons d'ailleurs qu'en tout état de cause, l'approche structurale n'est pas impuissante pour aborder aussi cette seconde question. En particulier, le calcul de biomasses fécondes par recrue, que nous ne détaillerons pas ici, permet de cerner les situations dans lesquelles il y a danger de "recruitment over-fishing".

- 3) L'absence de relations entre la pêcherie et le recrutement a des répercussions de première importance, quant à la manière d'envisager la gestion raisonnée des stocks. Si l'on excepte les cas (rares) de "recruitment over-fishing", la seule question essentielle qui se pose est en effet la suivante : comment utiliser au mieux le recrutement disponible ? Comme le souligne à nouveau Laurec (1990), "la question fondamentale est de savoir si l'on pêche plus ou moins intensément ; si l'on commence à pêcher les animaux tôt dans leur existence ou si l'on attend. (...) Plus on pêche intensément, et moins on laisse à la mortalité naturelle le temps de faire son effet. Pour un recrutement donné, on assiste ainsi à une augmentation du nombre de poissons capturés.

(4) Citons encore Laurec (1990). "Il est significatif de constater que les non-scientifiques envisagent généralement la gestion des ressources d'abord en terme de protection du stock de géniteurs, avec le souci d'assurer la pérennité du recrutement. A l'inverse, les biologistes sont en général très peu inquiets sur la survie de la ressource, parce que les stocks marins ont des capacités assez extraordinaires de réagir à la raréfaction des adultes. (...) Il faut retenir qu'il n'y a pas de relations simples entre le nombre d'adultes et le nombre de jeunes qui en sont issus. Par ailleurs, il existe un impact certain de l'environnement sur les fluctuations du recrutement. Il en découle qu'on ne sait pas prédire le niveau du recrutement. Que pouvons-nous faire à partir de là ? Et bien regarder, une fois que les recrues sont là, ce qui leur arrive, et comment on peut en tirer plus ou moins partie."

Par ailleurs, plus on pêche intensément, plus on rajeunit la pyramide des âges ; on capture des animaux de plus en plus petits, ce qui fait que le poids moyen des débarquements diminue. (...) La production totale est finalement une combinaison complexe entre le nombre de poissons capturés, qui va toujours en augmentant quand la pression de pêche s'accroît, et le poids moyen des individus capturés, qui va toujours en diminuant quand la pression de pêche s'accroît."

Le rendement par recrue : principe de calcul et intérêt

De ce qui précède, on retiendra que le diagnostic dépend *in fine* d'un bilan entre croissance pondérale et mortalité. C'est ce bilan que permet de quantifier le calcul des rendements par recrue.

Admettons que soient connus : un vecteur de mortalité par pêche F_a représentatif de la situation actuelle de la pêcherie (i.e. vecteur F_a de dernière année, ou moyenne des dernières années) ; un vecteur équivalent de mortalité naturelle M_a ; un vecteur de poids moyens par âge. Soit une cohorte hypothétique entrant dans la pêcherie avec un recrutement quelconque (disons, par exemple, 10^6 recrues). On peut dès lors calculer quelle serait l'évolution des effectifs de cette cohorte, soumise durant toute la durée de sa phase exploitée au régime d'exploitation actuel. On en déduit quelles seraient les captures numériques et pondérales qu'on en tirerait. Les équations utilisées sont les mêmes que celles de l'analyse des cohortes, à la seule différence près que les grandeurs F et M sont ici les variables connues et les grandeurs C et N les résultats recherchés (cf Figure 1).

La somme des captures pondérales rapportée à l'effectif du recrutement constitue le rendement par recrue, généralement exprimé en gramme/recrue ou en tonne/ 10^6 recrues. C'est une valeur théorique qui n'a, à elle seule, guère d'utilité.

En revanche, de la même manière, on peut calculer quel serait le rendement par recrue d'une exploitation globalement plus (ou moins) intense, sous l'hypothèse d'un diagramme d'exploitation constant (i.e. pas de modifications de la répartition des mortalités par pêche entre les âges). Le rendement par recrue est ainsi exprimé en fonction d'un multiplicateur m_f du vecteur de mortalité par pêche. Cette approche permet de répondre à des questions du type : comparativement à la situation actuelle, quelle modification globale de la pression de pêche faudrait-il envisager pour mieux utiliser le recrutement ? Sachant qu'une diminution de l'effort de pêche effectif se traduirait nécessairement par la capture de poissons moins nombreux mais plus gros, le bilan final serait-il globalement positif ou négatif ?

On peut aller sensiblement plus loin, en particulier dans le cas de pêcheries multi-métiers. A partir des vecteurs de mortalité $F_{a,h}$ de chaque métier, l'effet d'une modification de l'effort effectif de l'un ou l'autre des métiers peut être envisagé au moyen de multiplicateurs $m_{f,h}$ par métier. Le type de questions abordées ici est : quel est actuellement l'impact de tel métier sur tel autre ? Une diminution de la pression de pêche exercée par le premier se traduirait par un accroissement des taux de survie, donc des effectifs disponibles pour le second, donc de ses captures ; pour l'ensemble des métiers, peut-on en espérer un gain du rendement par recrue ?

On notera que ce calcul des rendements par recrue ne pose aucune difficulté méthodologique particulière, en ce sens qu'il découle directement des résultats de l'analyse des cohortes. Aucune hypothèse contraignante supplémentaire n'est notamment requise. En particulier, jusqu'à ce stade de l'analyse, il n'est fait jamais fait appel à une quelconque hypothèse concernant le caractère stable ou instable du recrutement, ou concernant l'existence (ou la non-existence) d'une situation "d'équilibre" entre l'abondance du stock et son milieu (incluant l'exploitation). De même, sous réserve que l'analyse des cohortes puisse être calibrée sur des données externes à la pêche artisanale, aucune quantification de l'effort de pêche n'est utilisée dans toute cette démarche.

Fondamentalement, le premier intérêt de cette étape de l'analyse structurale est l'établissement d'un diagnostic concernant la situation actuelle. Correspond-elle ou non à une utilisation satisfaisante du recrutement disponible ? Autrement dit, un autre régime d'exploitation permettrait-il ou non - et dans quelles proportions ? - de tirer un meilleur parti de chaque poisson entrant dans la pêcherie ? A partir de ce diagnostic, le rendement par recrue peut ensuite être utilisé pour des prévisions à long terme.

Du rendement par recrue à la prévision à long terme

La notion de rendement par recrue est souvent mal comprise et est parfois qualifiée, de manière abusive, de prédiction à l'équilibre. Quelques précisions s'imposent donc.

Considérons d'abord le cas simple, celui d'une ressource stable pour laquelle le recrutement peut raisonnablement être considéré comme constant (et de valeur connue). Au facteur recrutement près, le rendement par recrue est alors directement représentatif de la production obtenue une année donnée. Ceci est vrai à condition que toutes les cohortes constitutives du stock aient subi, depuis leur recrutement, le régime d'exploitation pour lequel le rendement par recrue est calculé. Autrement dit, si on envisage une modification du régime d'exploitation actuel, le diagnostic de rendement par recrue indique quelle sera la production attendue à long terme, lorsque toutes les cohortes exploitées auront subi ce nouveau régime d'exploitation.

Dans le cas des ressources instables, l'interprétation du rendement par recrue en tant que prévision à long terme est plus délicate. Un nouveau régime d'exploitation se traduira, lorsque toutes les cohortes l'auront subi depuis leur recrutement, par une production qui est une combinaison complexe du rendement par recrue, commun à toute les cohortes, et du recrutement de chaque cohorte. Prévoir si telle ou telle modification de l'intensité de pêche se traduira à long terme par un accroissement ou une diminution de la production, comparativement à la situation actuelle, est périlleux. Tout dépendra alors du recrutement futur, dans ce cas imprévisible. En revanche, le rendement par recrue de ce nouveau régime d'exploitation peut être comparé à celui du régime actuel. Le diagnostic est alors du type : telle modification du régime d'exploitation entraînera à long terme telle modification moyenne de la production, non pas comparativement à la production actuelle, mais comparativement au maintien du *statu quo*.

La seule hypothèse sous-jacente ici est que la courbe de rendement par recrue, en fonction de l'effort de pêche effectif, reste valide à long terme. Ceci revient à considérer que les caractéristiques moyennes de croissance et de mortalité naturelle du stock présentent une relative constance. Sauf exceptions, une telle hypothèse est infiniment moins contraignante que celle concernant la stabilité du recrutement.

Le type de diagnostic ainsi établi satisfait généralement l'halieute dynamique des populations. Il reste vrai, d'une part, qu'il est souvent peu compréhensible (donc difficilement acceptable) pour le pêcheur ou pour l'administrateur des pêches et, d'autre part, qu'il ne satisfait guère l'halieute économiste, à la recherche d'une courbe de production, si possible en fonction des coûts ...

Ce sont ces difficultés qui conduisent parfois à exprimer les résultats, non pas en terme de rendement par recrue, mais en terme de production totale. On s'appuie alors sur une hypothèse de recrutement constant ($Y = Y/R \cdot R_{cte}$) et on aboutit à une prévision à long terme qualifiée de prédiction à l'équilibre. Insistons cependant sur le fait que cette démarche, qui n'est pas valide dans le cas des ressources instables, n'est en rien inhérente à l'approche structurale. Celle-ci peut parfaitement aboutir à des diagnostics à long terme et à des recommandations de gestion, y compris dans le cas des ressources totalement instables, à condition de s'en tenir alors à la notion de rendement par recrue.

De la prédiction à la recommandation de gestion

Dans la formulation des recommandations de gestion, on rencontre une autre difficulté majeure. Les rendements par recrue sont en effet exprimés en fonction de multiplicateurs de la mortalité par pêche (un multiplicateur global, ou des multiplicateurs par métier). Autrement dit, les prévisions à long terme se rapportent à un effort de pêche effectif, alors que c'est l'effort de pêche nominal qui est susceptible de faire l'objet de mesures de gestion. On retrouve ici l'intérêt qu'il y a à analyser les relations entre effort nominal et effort effectif.

Pour autant, ici encore l'incertitude (dans ces relations entre ces différents efforts) ne doit pas conduire à masquer la composante certaine du diagnostic. Si une diminution par un facteur 2 de l'effort effectif paraît souhaitable, alors il est clair qu'une diminution importante de l'effort nominal doit être recommandée. A l'inverse, si un accroissement modéré de la pression de pêche paraît envisageable, il n'est pas certain, compte tenu de la tendance naturelle des pêcheurs à accroître leur efficacité, qu'on puisse aller au delà d'un simple maintien de l'effort de pêche nominal.

On retiendra, en définitive, que cette seconde étape de l'approche structurale ne pose pas de problèmes conceptuellement nouveaux par rapport à la première. Elle a essentiellement une fonction d'expertise, en ce sens qu'elle constitue l'étape clé du diagnostic sur l'évaluation des stocks. Elle s'applique tant aux ressources stables qu'aux ressources instables. Au delà des incertitudes, qui sont toujours présentes, elle conduit très généralement à des recommandations pertinentes, en matière de gestion des stocks.

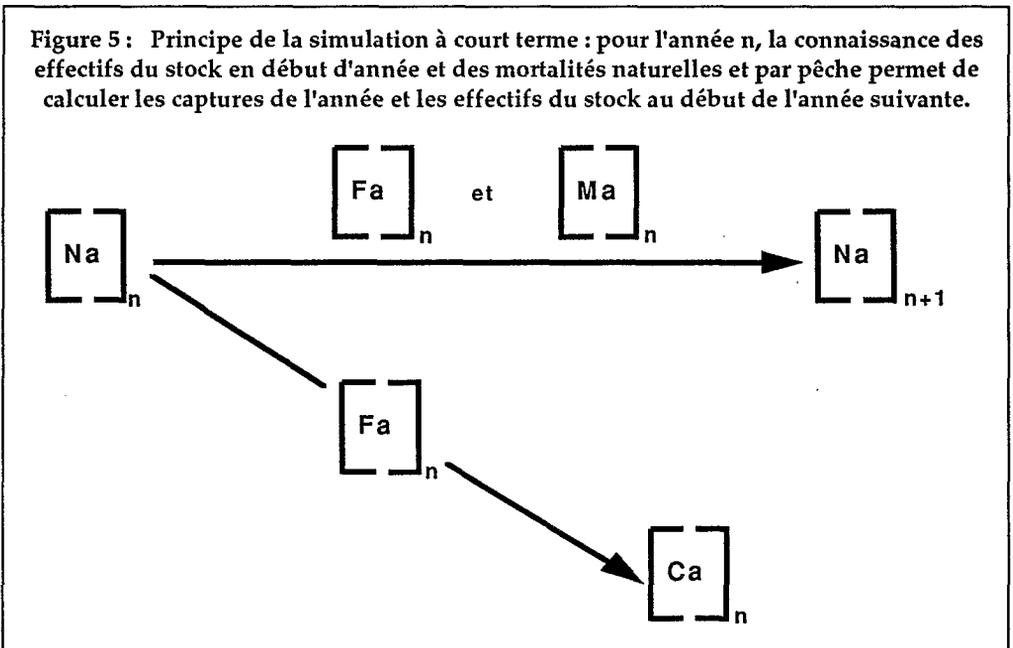
LES PRÉDICTIONS Á COURT TERME : SIMULATION DES CAPTURES ET DES EFFECTIFS

Justifications et principes

Deux types de préoccupations justifient le recours aux techniques de simulation :

- d'une part, le désir de savoir ce qui va se passer, non pas en terme de rendement par recrue dans 10 ans, mais en terme de captures l'année prochaine ou la suivante ; l'intérêt de cette préoccupation est évident.
- d'autre part, l'antagonisme qui existe souvent entre le long terme et le court terme. Une diminution de la pression de pêche peut en effet paraître souhaitable, compte tenu des prévisions à long terme issues du calcul des rendements par recrue. A court terme, elle se traduira nécessairement par une baisse des captures numériques et donc des rendements pondéraux. Ce n'est que lorsque les poissons épargnés par la diminution de l'effort auront suffisamment grandi, qu'on pourra espérer un gain. Le problème est donc de disposer de tous les éléments pour établir un bilan entre un long terme jugé souhaitable et un court terme jugé acceptable.

Les techniques de simulation consistent à calculer le vecteur des captures C_a et le vecteur des effectifs du stock N_a , pour une année donnée, connaissant les effectifs de l'année précédente et les mortalités naturelles et par pêche de l'année simulée (Figure 5).



Les difficultés de la simulation

Le premier problème rencontré est celui du choix d'un vecteur F_a de simulation. Lorsqu'on cherche à établir un bilan court terme / long terme, c'est naturellement le même vecteur F_a qui doit être utilisé dans la simulation et dans le calcul du rendement par recrue. Le problème essentiel n'est pas ici de prédire l'année (ou les années) suivante(s). Il s'agit plutôt d'évaluer les conséquences théoriques à court terme d'une recommandation jugée souhaitable à long terme. Cette démarche est souvent utile, même si il reste admis que l'évolution réelle pourra être sensiblement différente des résultats théoriques estimés à court terme.

Lorsqu'on cherche à prédire un avenir considéré probable, indépendamment ou non de toute mesure de gestion, c'est un vecteur F_a également jugé probable qu'il convient d'utiliser. Celui-ci est généralement construit à partir des estimations les plus récentes des mortalités $F_{a,y}$. Le plus simple est, bien sûr, de travailler sous l'hypothèse d'un régime d'exploitation constant. Des correctifs peuvent également être introduits, en fonction par exemple des évolutions prévisibles des efforts de pêche globaux ou par métier.

Naturellement, lorsque le "pattern" d'exploitation fluctue de manière plus ou moins erratique (ou en tout cas non prévisible), le choix d'un vecteur F_a de simulation est périlleux. Toute simulation à court terme paraît alors hasardeuse. Cette situation est sans doute celle d'une fraction importante des ressources exploitées par la pêche artisanale sénégalaise. Elle constitue la principale limite à l'utilisation des techniques de simulation.

La seconde difficulté a trait à la prédiction des effectifs (Figure 6). Si les données statistiques sont disponibles jusqu'à l'année $n-1$, l'analyse des cohortes conduit à estimer les effectifs en fin d'année $n-1$, c'est-à-dire en début d'année n . Ceci est vrai pour chacun des groupes d'âge, à l'exception du plus jeune. Pour simuler l'année n , il est donc indispensable de disposer d'une estimation du recrutement de cette année, soit R_n . De même, la simulation de l'année $n+1$, présuppose que soit connu le recrutement R_{n+1} .

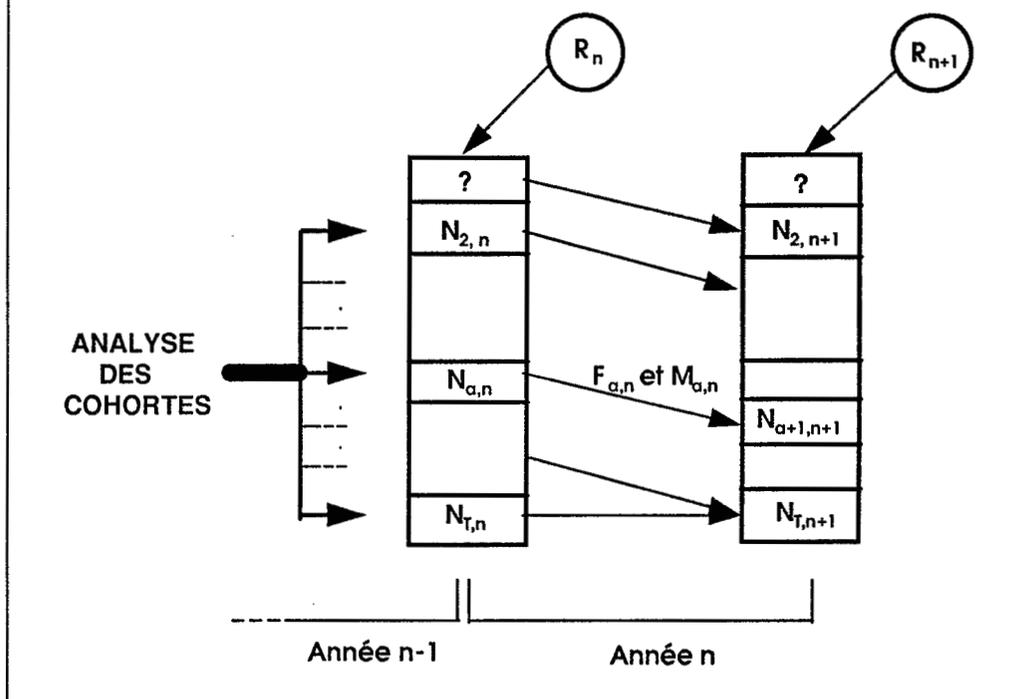
Deux types de situations peuvent rendre cette difficulté relativement mineure.

- Dans le cas des ressources à recrutement peu variable, un recrutement moyen, au besoin complété par une hypothèse basse et une hypothèse haute, peut raisonnablement être utilisé. En poursuivant la simulation sur un nombre suffisant d'années, on aboutit alors à des prédictions de captures dites "à l'équilibre", et qui sont en tout point identiques à celles évoquées plus haut.
- Dans le cas des espèces à forte longévité, et lorsque les groupes d'âge jeune ne représentent qu'une part réduite des captures, la simulation peut être envisagée pour un nombre d'années limité. L'incertitude concernant les jeunes n'a alors que peu d'effets sur les prédictions concernant les effectifs ou les captures totales, tous groupes d'âge confondus.

En ce qui concerne la pêche artisanale sénégalaise, il est clair que seules certaines espèces correspondent à l'une ou l'autre de ces situations. Pour les autres, la prédic-

tion à court terme apparaît, au moins en l'état actuel des connaissances, largement illusoire.

Figure 6 : Simulation des effectifs du stock, pour l'année n. La simulation requière que soient connus les données nécessaires à l'analyse des cohortes jusqu'à l'années n-1 et l'effectif du recrutement de l'année n (cf. texte).



BILAN - CONCLUSION

Quelles difficultés la mise en oeuvre de l'approche structurale pose-t-elle finalement ? Elles sont de trois ordres.

Les premières conditionnent tout établissement d'un diagnostic ; elles se rapportent à l'estimation des variables d'entrée de l'analyse des cohortes et aux procédures de calibration de cette analyse. Citons essentiellement : les procédures d'extrapolation des captures, l'évaluation des rejets, les méthodes de conversion des structures de taille en structures d'âge, l'estimation des mortalités naturelles, et l'estimation d'indices d'abondances utilisables pour le "tuning" de l'analyse. Dans la plupart des cas, on dispose cependant d'une base de connaissances importante, sur laquelle appuyer des estimations et des hypothèses raisonnables. En prenant en compte l'information essentielle que constituent les données de captures en tailles, l'approche structurale doit ainsi conduire à des évaluations, certes entachées

d'incertitude, mais répondant déjà de manière fiable à nombre de questions posées.

Le second type de difficultés concerne les prédictions à court terme, qui paraissent aujourd'hui illusoire pour de nombreuses espèces. Ces prédictions ne sont cependant qu'un élément relativement mineur dans les diagnostics et dans les recommandations de gestion, susceptibles d'être formulées à l'heure actuelle.

Enfin, l'une des difficultés majeures, non encore abordée jusqu'ici, est la forte pluri-spécificité des captures de la pêche artisanale sénégalaise. Cette pluri-spécificité revêt deux aspects distincts. Le premier a trait à la prise en compte des interactions biologiques entre espèces. De nombreuses recherches sont menées actuellement dans le monde sur ce thème. Il est rare cependant qu'elles conduisent à des modèles d'intérêt prédictif ou décisionnel. En outre, le problème est ici, *in fine*, un problème d'analyse de variance. Plus un stock est exploité de manière intense, plus l'importance relative des interactions biologiques diminue, tandis que l'exploitation tend à devenir le déterminant essentiel de la dynamique du stock. Le diagnostic de "surexploitation" biologique peut alors être certain, indépendamment des incertitudes liées aux relations inter-spécifiques. A l'inverse, la diminution d'abondance d'un stock peut avoir des répercussions sur les autres, par l'intermédiaire des relations de compétition ou de prédation, notamment aux stades pré-recrutés. L'étude de ces interactions apparaît ainsi comme un thème de recherche complémentaire, mais non directement concurrent de l'évaluation mono-spécifique des ressources.

Le deuxième aspect de la pluri-spécificité concerne la prise en compte des interactions technologiques entre espèces, c'est-à-dire le fait que plusieurs espèces sont capturées simultanément par un engin de pêche. Dans ce cas, le diagnostic reste toujours mono-spécifique, tandis que la prévision est pluri-spécifique (cf aussi Fonteneau et Gascuel, 1993). L'estimation d'une courbe de rendement par recrue pour l'ensemble des espèces considérées, et par suite la prévision à long terme, ne sont cependant possibles que sous certaines hypothèses. En particulier, il faut alors admettre que l'importance relative du recrutement de chaque espèce reste constante. En revanche, lorsque l'on s'intéresse à des espèces à recrutements hautement variables et que les diagnostics divergent selon l'espèce considérée, il n'est guère possible d'aller au-delà du diagnostic relatif à la situation présente.

En définitif, la mise en oeuvre de l'approche structurale apparaît d'un intérêt potentiel majeur pour la pêche artisanale sénégalaise. D'abord, parce qu'elle permet de tirer pleinement partie de l'information considérable accumulée ces dernières années au CRODT, en matière de fréquences de taille des captures. Ensuite, parce qu'elle s'applique tant aux ressources stables qu'aux ressources instables. A aucun moment dans l'analyse, au moins jusqu'au diagnostic sur la situation actuelle et jusqu'à la prévision à long terme, il n'est fait appel à une quelconque hypothèse concernant la variabilité du recrutement. Enfin, cette approche est particulièrement bien adaptée au caractère adaptable des pêcheries ; sous certaines conditions, elle n'impose pas comme préalable une quantification de l'effort de pêche effectif.

Les diagnostics concernant l'état des stocks doivent en particulier conduire à formuler des recommandations de gestion pertinentes. Naturellement, ceci ne signifie pas qu'on puisse en déduire de manière simple les moyens techniques à mettre en

oeuvre pour réguler efficacement l'activité de pêche et en assurer le développement durable. De ce point de vue, d'autres problèmes se posent, liés au caractère intrinsèquement complexe de la dynamique des systèmes halieutiques. Ils appellent, sans aucun doute, à un développement des recherches pluridisciplinaires. Ces questions dépassent cependant très largement le cadre de la présente réflexion et on ne les abordera pas ici plus avant.

On insistera pour conclure, sur l'intérêt particulier de la première étape présentée, l'analyse des cohortes. Au delà d'une fonction d'expertise, elle peut en effet contribuer, en tant que modèle explicatif de l'histoire de l'exploitation, à mieux comprendre les déterminants de cette dynamique du système pêche.

RÉFÉRENCES

- Cury P. et C. Roy, 1991 - Pêcheries ouest-Africaines : *variabilité, instabilité et changements*. ORSTOM Paris éd., 525 p.
- Ferraris J., 1993 - La pêche artisanale au Sénégal : description de la variabilité spatio-temporelle. Symposium sur l'évaluation des ressources exploitées par la pêche artisanale au Sénégal, *Présent rapport*.
- Fonteneau A. et D. Gascuel, 1993 - La problématique de l'évaluation des ressources halieutiques de la pêche artisanale sénégalaise : nécessité d'une approche intégrée. Symposium sur l'évaluation des ressources exploitées par la pêche artisanale au Sénégal, *Présent rapport*.
- Fréon P., 1986 - Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation. Analyse et réflexion à partir de l'exemple du Sénégal. *Thèse doct. d'état. Univ. Aix Marseille II*.
- Gascuel D., sous presse - Une méthode simple d'ajustement des clés taille/âge : application aux captures d'albacores (*Thunnus albacares*) de l'Atlantique Est. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*
- Gulland J.A., 1965 - Estimation of mortality rates. Annex to the Report of the Arctic Fisheries Working Group. *Hambourg, janvier 1965. Cons. Int. Explor. Mer., CM 1965/3 : 9 p.*
- Laloë F. et A. Samba, 1989 - La pêche artisanale au Sénégal : ressource et stratégies de pêche. *ORSTOM Paris éd., 395 p.*
- Laloë F. et A. Samba, 1991 - A simulation model of artisanal fisheries of Senegal, *ICES mar. Sci. Symp., 193 : 281-286.*
- Laurec A., 1990 - Les outils de gestion des stocks : performances, limites, évolution. In : *"Les Rencontres Halieutiques de Rennes - La gestion des pêches maritimes françaises : aujourd'hui, demain"*, Colloque des 23-24 Mars 1990, Gascuel D. (éd.), ENSA de Rennes, pp 10-18.
- Laurec A. et J.C. Le Guen, 1981 - Dynamique des populations marines exploitées, Tome I - Concepts et modèles. *Rapport Scientifiques et Techniques, CNEOX éd., 118 p.*
- Mesnil B. - 1980 - Théorie et pratique de l'analyse des cohortes. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit., 44(2) ; 119 -155.*
- Pope J.G., 1972 - An investigation of the accuracy of Virtual Population Analysis using Cohort Analysis. *I.C.N.A.F., Res. Bull., 9 : 65-74.*
- Samb B., M. Barry-Gérard, et A. Caverivière, 1993 - Fréquences de taille : stratégie de collecte et travaux effectués. *Présent rapport*.

