

Représentation de la complexité des exploitations halieutiques

Jean Le Fur*
CRODT/ISRA,
BP 2241,
Dakar,
Sénégal

* modélisateur

Résumé

De nouvelles voies de recherche se dessinent pour la représentation des exploitations halieutiques. Parmi celles-ci, quelques approches tentent d'aborder le système dans sa complexité et conduisent à poser à nouveau un certain nombre de questions sur la perception et la représentation de la dynamique de l'exploitation.

Un projet de modélisation de la pêche artisanale, reprenant les termes de ce type d'approche, est actuellement développé au Sénégal. Pour tenter de rendre compte de la complexité du domaine étudié, certains aspects de la problématique "dynamique de l'exploitation" ont du être reconsidérés. Les thèmes traités ici concernent la formulation d'une problématique adaptée au projet de modélisation, les choix méthodologiques qu'impliquent les objectifs fixés, les contraintes liées à la nature et à la qualité de l'information à traiter. Finalement, les choix effectués et les contraintes à gérer affectent la nature, la qualité et la validité des résultats obtenus.

Abstract

In the research field of fisheries' modeling, some recent studies try to consider the domain complexity as an intrinsic component of the fisheries' development and sustainability. Trying to understand the fisheries' functioning with such an approach has many consequences in the scientific presentation. In this paper, we try to review some of the choices and constraints

that arise from this particular point of view: dealing with the fisheries complexity first implies defining original problematic. The limits within which the research work can thereby be constrains the choice of the representation methods to use and the data availability with regard to the study objectives. Trying to represent the fisheries complexity also implies some problems at the validation and calibration steps.

The discussion is based on the results of a small scale fishery modeling project conducted in Senegal (West Africa).

INTRODUCTION

Dans le domaine des systèmes naturels soumis à exploitation, les problématiques scientifiques sont le plus souvent étroitement liées à des questions de développement. Dans ce domaine, les questions posées sont claires¹ : on veut se donner les moyens de gérer ces systèmes, d'en tirer ce qu'ils peuvent nous apporter sans les détruire, c'est-à-dire sans amoindrir leur pouvoir de production, d'autorégulation et de persistance (Frontier et Pichot-Viale, 1992). Dans le domaine des exploitations halieutiques, l'objectif du "gestionnaire" peut être varié et s'exprime en général au niveau biologique (e.g., conservation de la ressource, augmentation des captures), économique (augmentation des recettes issues de la pêche) ou social (conservation ou augmentation du nombre d'emplois créés, maintien de la paix sociale).

Les traductions scientifiques de ces questions mènent le plus souvent à des recherches sectorielles et actives. La démarche utilisée consiste généralement à considérer la pêche comme une chaîne de domaines liés par des relations de cause à effet. La recherche de l'action pertinente sur l'un d'entre eux suffit pour déterminer l'action à préconiser en fonction de la demande affichée (biologique, économique, sociale). Cette perception produit des études spécifiques qui conduisent généralement à des recommandations ciblées sur un des composants du domaine étudié (quotas, taxes, soutiens financiers, politique sociale, etc.). Les actions qui en découlent aboutissent souvent à des effets significatifs pour la préservation des exploitations. Cependant, de nombreux exemples de dérives par rapport aux objectifs ini-

¹ En première approximation, on peut supposer que les objectifs de gestion sont le résultat d'une évaluation rationnelle en fonction de critères bien définis. Certains auteurs (Crozier et Friedberg, 1977) ont cependant montré le caractère typiquement réactif, adaptatif des décisions politiques qui répondent plus à des choix sous contraintes qu'à la poursuite d'objectifs connus.

2 MODélisation de la Pêche Artisanale au Sénégal : Le projet repose sur la représentation de l'organisation et des mécanismes adaptatifs que le système "pêche artisanale" développe pour répondre aux changements auxquels il est soumis. Dans le modèle développé, le système pêche est considéré dans sa globalité, c'est-à-dire en considérant à la fois ses facettes économiques, biologiques, sociales. La démarche de modélisation exploite les apports de l'approche système, ceux de l'intelligence artificielle. Le modèle doit permettre de simuler des scénarios rendant compte de la multiplicité effective des conséquences d'une perturbation affectant le système, qu'elle soit biologique, sociale ou économique.

tiaux ont été cités (Chaboud et Deme, 1988, Kébé, 1991, Laloë *et al.*, 1991, Rey, 1992). Ces insuffisances constatées ont diverses origines qui ont été bien reconnues. Elles proviennent notamment des approches trop compartimentées par disciplines (Chaussade, 1989, Laloë et Samba, 1990, Quensièrè, 1991) ou de l'existence supposée d'équilibres potentiels au sein des différents composants (Allen et McGlade, 1987, Weber *et al.*, 1990).

Ces écarts observés entre prévisions et réalité traduisent, semble-t-il, une représentation trop simplifiée des systèmes étudiés. Ces écarts se révèlent en effet d'autant plus grands, et donc moins acceptables, que les modèles sont appliqués à des systèmes complexes ; ce qui est le plus souvent le cas pour les systèmes d'exploitation halieutiques.

Pour tenter de répondre à ce problème, de nouvelles voies de recherche se dessinent pour la modélisation des exploitations halieutiques. Parmi celles-ci, certaines approches tentent de se pencher sur la complexité du système et sur les propriétés qu'elle lui confère. Le plus souvent de type exploratoire, ces recherches posent un certain nombre de questions sur la perception et la représentation de la dynamique de l'exploitation.

Ces différents points font l'objet de ce document. Ils seront abordés à la lumière d'une expérience de modélisation actuellement réalisée au Sénégal dans le cadre du projet MOPA² (Le Fur, 1993a). Ce projet propose une nouvelle approche méthodologique reposant sur l'acceptation de la complexité du système et de ses conséquences ; conceptions que nous tenterons d'explicitier.

1. FORMULATION D'UNE PROBLÉMATIQUE

Du fait de la prise en compte de la complexité, on se place dans un nouveau cadre conceptuel : de nombreux auteurs (Destouches, 1977, Le Gallou, 1992b) ont en effet montré que, dans l'état actuel de nos connaissances, la modélisation complète de systèmes complexes n'était pas à notre portée. La complexité induit donc un premier constat s'exprimant par le fait que l'on ne peut rendre compte de LA réalité, mais d'UNE réalité.

Dans le projet MOPA, l'exploitation halieutique est perçue comme une entité complexe. Cette complexité apparaît principalement liée aux interactions et interdépendances existantes entre les différents éléments qui la constitue. Cette complexité joue de plus un rôle : elle est considérée comme un des déterminants essentiels de l'adaptabilité du système, en lui procurant notamment la souplesse nécessaire pour se maintenir dans un environnement fluctuant.

Cette perception du domaine étudié est subjective et conditionne complètement la représentation qui en découle. Intervient ici la notion de "projet de modélisation" dans lequel le modélisateur est amené à définir (subjectivement) les finalités qu'il propose au modèle particulier du système complexe qu'il étudie (Le Moigne, 1990). La modélisation se conçoit donc à travers un objectif (un projet de modélisation), et en fonction de la perception particulière qu'a le modélisateur de son objet d'étude.

Dans le cadre du projet MOPA, le "projet" consiste à chercher comment caractériser la dynamique du système pêche dans un environnement soumis à des changements et, par induction, définir les conditions de sa pérennité. On projette ainsi de rendre compte des moyens (organisation, variété, processus, décisions) par lesquels les différents composants de la pêche artisanale peuvent s'adapter à l'environnement changeant dans lequel ils évoluent, ces moyens étant supposés assurer globalement la pérennité de l'ensemble que l'on perçoit et définit comme le "système pêche artisanale"³.

Parmi le cortège d'approches possibles pour cette question, la théorie systémique (Bertalanffy, 1973, Walliser, 1977, Le Gallou, 1992a) fournit de nombreuses indications. Ainsi, les notions d'émergence, de résilience, de rétroaction, de variété, etc. constituent autant de notions utiles pour la modélisation et autant de voies de recherche spécifiques à explorer.

2. CONTRAINTES INSTRUMENTALES DE LA REPRÉSENTATION

L'acceptation de la complexité et le choix du projet de modélisation qui en découle imposent un certain nombre de contraintes

3 On peut espérer qu'à cet objectif scientifique puisse correspondre une visée opérationnelle, un cadre d'action au sein duquel le système pourrait être géré sans être détruit.

sur le choix des méthodes de représentation à considérer et des outils formels à utiliser. Ces contraintes sont principalement de trois ordres : celles liées à la notion de complexité, celles qu'implique la réalisation du projet de modélisation et celles enfin qui sont issues de la disponibilité et de la qualité des connaissances déjà acquises sur le système à modéliser.

2.1- Contraintes liées à la complexité

Rendre compte de l'interdépendance et des interactions entre les différents éléments qui composent un système d'exploitation implique une modélisation permettant de considérer l'ensemble des éléments constitutifs à travers un formalisme commun. L'approche pluridisciplinaire apparaît dès lors comme une condition sine qua non de la compréhension du système. En termes d'outils, elle implique l'utilisation d'un langage de représentation commun à l'ensemble des disciplines afin de permettre la mise en relation des différents domaines concernés.

La complexité induit un certain nombre de caractéristiques spécifiques au fonctionnement des systèmes. Par exemple, il a été montré (Lesourne, 1990) que, du fait de la complexité du système, les acteurs humains d'un système d'exploitation ne pouvaient bénéficier d'une information complète sur l'état du système dans lequel ils se trouvent. La quantité et la qualité de l'information disponible deviennent donc des éléments fondamentaux pour la compréhension de la structure et du fonctionnement du système. Il apparaît alors nécessaire de se doter de méthodes de modélisation qui puissent prendre en compte ce type de connaissance qualitative.

Compte tenu de nos capacités limitées de représentation et du nombre de processus et d'éléments dont il faut rendre compte, les formalismes à retenir doivent être capables d'assurer une modélisation de la complexité qui soit à la fois progressive et conservatrice (sans perte de l'information déjà représentée).

La complexité d'un système est d'autre part liée à la variété (nombre et nature) des éléments constitutifs et à la variété concomitante des interactions entre ces différents éléments. Par conséquent, les dynamiques de systèmes complexes sont caractérisées le plus souvent par la fluctuation simultanée de plu-

siieurs variables. La complexité des dynamiques résultantes impose ici l'utilisation d'outils de représentation adaptés à la prise en compte de cette multi-variabilité.

2.2- Contraintes liées au projet de modélisation

Elles sont en général spécifiques du projet particulier qui a été défini. Dans le cadre du projet MOPA, l'angle sous lequel veut être perçu le système (dynamique temporelle globale) met en avant un certain nombre de concepts dont il est important de rendre compte. Ces concepts, l'organisation, la variété, la décision, l'émergence, la résilience constituent alors autant de contraintes méthodologiques qu'il faut considérer. Les recherches dans le domaine de la modélisation des systèmes complexes ont ainsi conduit à la production d'un nombre important de nouvelles méthodes, adaptées souvent à rendre compte d'un de ces concepts en particulier.

Par exemple, représenter l'émergence implique une modélisation qui permette de rendre compte de dynamiques globales construites à partir de mécanismes locaux. Cela implique d'une part de modéliser correctement les processus locaux et d'autre part de formaliser, à travers le modèle, la possibilité pour ces processus d'agir en interaction et en coopération afin que des dynamiques organisationnelles puissent être observables à un niveau global. D'autre part, représenter l'apparition de nouvelles fonctionnalités qui n'existaient pas auparavant dans le système exige a priori l'utilisation de formalismes procurant au modèle un nombre suffisant de degrés de liberté afin qu'il puisse présenter une certaine forme d'autonomie, sinon de créativité. Ces nécessités contraignent fortement le choix des méthodes de modélisation à retenir, et il en est de même pour chacun des concepts évoqués.

Dans le contexte de la modélisation de systèmes perçus complexes, le choix de la méthode la plus adaptée n'est pas trivial. Il procède de choix nécessaires, de concessions indispensables et d'une connaissance très poussée des fonctionnalités propres à chacune des méthodes disponibles. Le plus souvent, le cadre méthodologique nécessaire à la modélisation d'un système complexe implique la combinaison de plusieurs méthodes. Se posent alors des problèmes de compatibilité, de synergies et de redon-

4 Voir à ce sujet le numéro spécial "Intelligence Artificielle Distribuée: Modèle ou Métaphore des phénomènes sociaux". Rev. intern. Systémique, vol.8, n°1, 1994.

dances lorsque l'on combine plusieurs méthodes de représentation (Ferraris et Le Fur, 1993). Dans le cadre du projet MOPA, une combinaison de méthodes a, par exemple, été utilisée :

- L'outil statistique, en permettant de dégager des tendances, en élaborant des typologies, facilite la prise en compte de la variété et de la variabilité qui interviennent dans la compréhension de la pérennité du système.
- L'analyse symbolique (Diday, 1987, Périnel, 1992) et la modélisation à base de règles expertes (Farreny et Gallab, 1987) permettent de rendre compte des connaissances qualitatives nécessaires à la représentation fonctionnelle du système (ex: l'information, la décision).
- L'approche objet (Bailly *et al.*, 1987, Masini *et al.*, 1989), "nouveau" formalisme informatique, offre des fonctionnalités facilitant la représentation des interrelations entre les éléments du système ; elle permet d'introduire une modularité qui facilite une modélisation progressive de la complexité. Son intérêt tient aussi à ce qu'elle procure un cadre conceptuel plastique à partir duquel les concepts évoqués peuvent être exprimés assez naturellement.
- L'intelligence artificielle dite distribuée (Ferber, 1989, Bousquet *et al.*, 1992) peut être considérée comme une parmi les nombreuses formalisations que permet l'approche objet. Elle offre les moyens de décrire le fonctionnement des centres de décision, leur mise en coopération. Elle introduit ainsi un formalisme susceptible de produire des phénomènes organisationnels, utiles à la compréhension du fonctionnement du système⁴.
- Il est enfin important de rappeler l'intérêt du discours en tant qu'outil de représentation. Bien que parfois difficile à manier, il permet souvent de pallier aux limitations des approches instrumentales courantes.

Outre les contraintes liées à la complexité du système et celles qu'impliquent la réalisation du projet, certaines connaissances préétablies peuvent de même conditionner fortement la direction que prendra le modèle.

2.3- Contraintes liées aux connaissances acquises

La place centrale donnée à la composante humaine au sein du projet a conduit à développer particulièrement l'aspect décision

dans la représentation des interactions. Dans le modèle, des processeurs particuliers appelés "centres de décision" sont susceptibles (et chargés) d'assurer une réponse adaptée aux changements auxquels ils sont soumis (Le Fur, 1993c). Leur organisation et l'ensemble des actions qu'ils infèrent sont supposées produire à travers le temps une dynamique globale.

Utilisant une conception relativement bien admise (Laloë et Samba 1990, Ecoutin, 1991, Ferraris et Samba, 1992), le modèle de décision retenu dans le projet est formalisé en utilisant les concepts de "tactiques" qui rendent compte de décisions à court terme, et de "stratégies", qui portent plutôt sur des décisions à plus long terme. Pour retranscrire cette connaissance dans le modèle, différentes catégories d'objets formels correspondant à différents niveaux de décision ont été différenciées. On a ainsi été distingués (1) des objets de type "tactique" qui correspondent à une unité de comportement, (2) des objets de type "stratégie" qui agissent en tant qu'unité de "projet" et (3) des objets de type "communauté" qui pourraient correspondre à une unité de "vécu" dans la mesure où leur état à un moment donné est la conséquence des différentes actions qu'elles ont pu entreprendre par le passé et de l'expérience qu'elles ont ainsi acquies. Les communautés, en fonction de leurs habitudes, de leur expérience, de l'environnement dans lequel elles se trouvent, puisent dans les objets de connaissance que sont les tactiques et les stratégies pour déterminer les modalités de leur action future. On différencie ainsi des objets distincts que l'on met en interaction.

Cette présentation sous forme de tactiques et de stratégies est issue d'une perception généralement admise de la décision (dans le domaine des exploitations halieutiques tout au moins). Cette approche a le mérite d'être reconnue et a conduit à des résultats satisfaisants dans d'autres contextes (ex., prise en compte de la décision pour déterminer les distributions d'un effort de pêche). Dans un projet tel que celui présenté ici, cette partition entre différents niveaux de décision peut cependant nuire à la modélisation. Elle est instituée a priori (on impose au modèle de fonctionner de la sorte) et non pas validée a posteriori par le jeu des interactions entre des processus de décision plus élémentaires. Dans l'optique du projet, l'utilisation de cette connaissance acquise revient un peu à poser a priori les conditions du résultat que l'on cherche à obtenir et risque, à terme, de nuire à la validité du modèle⁵.

5 "La condition de compatibilité qui exige que les nouvelles hypothèses s'accordent avec les théories admises est déraisonnable en ce qu'elle protège la théorie ancienne et non la meilleure", (Feyerabend, 1979).

3. CONTRAINTES LIÉES À L'INFORMATION TRAITÉE

Du fait de la complexité, une collecte exhaustive de l'information potentielle sur le système n'est pas envisageable. Un cadre restreint d'observation doit donc être défini et, ici encore, le choix des connaissances à traiter peut conditionner la réussite du projet. Deux approches peuvent être envisagées :

3.1- Acquisition de connaissances conduites par le modèle

On peut tenter de concevoir un protocole d'observation 'ad hoc', déterminé en fonction du projet de modélisation qui a été défini. Cela implique une connaissance a priori du fonctionnement du système qui n'est pas forcément aisée à obtenir. La confrontation du projet et de cette connaissance a priori permet alors de définir quels domaines d'observation devront être privilégiés, quelles échelles spatiales et temporelles seront prises en compte, quels indicateurs retenus, etc. Cette approche a pour inconvénient de nécessiter un projet préalable d'information (Morand, comm. pers.), puis un effort important de collecte. Elle présente évidemment le grand avantage d'être adaptée à la problématique qui est définie. De telles approches ont déjà été réalisées avec un succès certain pour aborder la complexité de certaines exploitations artisanales (Quensière, 1991, Morand *et al.*, 1991, Bousquet et Cambier, 1991).

3.2- Acquisition de connaissances dirigée par les données

Dans des domaines pour lesquels une information importante est déjà disponible, il est tentant de chercher à exploiter cette information. On bénéficie ainsi d'un cadre préalable consistant sur lequel peut s'appuyer la modélisation. De plus, grâce aux suivis réalisés, il est possible d'appréhender l'"histoire" des processus que l'on cherche à représenter et, par là, d'accéder potentiellement à la compréhension de l'évolution du système (Le Fur, 1993b).

C'est dans un tel contexte, à partir d'une base d'informations très importante collectée depuis 1972 en biologie (Pechart, 1982), 1977 en économie (Weber, 1982) et disponible au CRODT⁶ (Ferraris *et al.*, 1993), que s'est développé le projet MOPA. Les protocoles liés à cette base de connaissance ont été élaborés, il y a déjà longtemps, sur la base de projets de connaissance différents, issus de conceptions mono-disciplinaires, biologiques et économiques, du fonctionnement du système pêche (Laloë, 1992). Malgré ses avantages, l'utilisation de cette approche dans le cadre du projet MOPA s'est révélée contraignante. Les inconvénients rencontrés relèvent principalement du fait que le projet MOPA a conduit à la définition de centres d'intérêts différents de ceux qui avaient présidé à l'élaboration de la base de connaissance.

Par exemple, la place donnée dans le projet à la compréhension des centres de décisions implique (1) une bonne connaissance du comportement des acteurs humains/sociaux du système, (2) une compréhension poussée des flux d'informations, des temps de réponse, des délais nécessaires à la prise de décision ainsi (3) qu'une connaissance des motivations de ces centres de décision. La modélisation s'est donc progressivement orientée vers l'étude et la représentation des comportements individuels et sociaux. L'utilisation des bases de données existantes a alors révélé des lacunes dans la connaissance disponible et soulevé des contraintes sur la façon dont pouvait être modélisé le système étudié :

- Les bases de données disponibles comportent une grande quantité d'information concernant les stocks sur lesquels portent les décisions (ressources biologique et monétaire) mais très peu sur le fonctionnement des centres de décision eux-mêmes.
- Les paramètres biologiques et économiques pour lesquels des données sont disponibles ne constituent pas les seuls critères de motivation des centres de décision. Des informations sur le comportement des pêcheurs ont en effet révélé l'importance des contraintes d'usage, du contexte social et de l'environnement familial dans les choix des exploitants au détriment des critères de profit (Gaye, 1992). Dès lors que le rendement d'une pratique de pêche ou le prix des espèces qu'ils pêchent ne constituait pas le facteur de motivation principal des pêcheurs, l'information disponible dans les bases de données

⁶ Centre de Recherches
Océanographique de Dakar
Thiaroye, Institut Sénégalais de
Recherches Agricoles (ISRA)

ne s'avérait plus appropriée à la problématique.

- Les connaissances disponibles sur les temps de réponse, les sources d'information, etc., lorsqu'elles existent, se présentent principalement sous la forme de l'expérience des chercheurs travaillant dans ce domaine. Elles sont ainsi le plus souvent de nature qualitative.
- Lorsqu'un temps de réponse peut être décrit (ex., le temps entre lequel un pêcheur reçoit une information sur une ressource et celui où il va ou non chercher cette ressource), ses conséquences ne peuvent être appréhendées que si le pas de temps retenu pour la collecte en routine des données est inférieur ou au moins égal à ce temps de réponse. Dans le cas de la pêche artisanale au Sénégal, des informations de bonne qualité sont disponibles sur l'état de la ressource avec un pas de quinze jours (Ferraris *et al.*, 1993). Lors d'un changement de tactique des pêcheurs, suite à une modification de la ressource par exemple, les réponses des pêcheurs à la "perturbation" peuvent être très rapides, parfois inférieures à la journée. La représentation de l'augmentation d'effectif, liée à des pas de temps très courts, ne peut être alors reliée aux données disponibles sur les fluctuations des ressources.
- Le choix d'exploiter ou non les connaissances déjà acquises conditionne aussi les directions prises par le modèle. Toujours dans le cadre du projet MOPA, la disponibilité d'une grande quantité d'informations quantitatives sur le rendement de la pêche et le prix des espèces a conduit, en première approche, à orienter la recherche plus particulièrement sur l'importance des paramètres de l'environnement biologique et économique dans le processus de décision, au détriment d'informations sociologiques indisponibles dans les bases quantitatives. La mise en place d'études sociologiques complémentaires a permis de réduire ensuite ce biais (Gaye, 1992). Cette approche centrée sur les connaissances disponibles a cependant fortement orienté la forme actuelle du modèle dans une direction qui s'avère à présent sub-optimale.

Il peut sembler ainsi nécessaire de revoir la façon dont les protocoles de suivi à moyen ou long terme sont élaborés dans la mesure où les domaines d'observation pertinents, les niveaux de précision requis, les échelles de temps à considérer, changent avec les problématiques. En effet, une des principales justification de ces protocoles est leur caractère générique, leur robu-

tesse vis à vis de différentes problématiques portant sur le domaine considéré. Ils sont aussi censés permettre le développement de recherches de natures différentes à partir d'une même base de connaissances. Dans la mesure où chaque représentation d'un système complexe sous-tend un projet particulier de modélisation, il apparaît peu aisé de définir des protocoles de suivi d'un domaine qui puissent conserver ces propriétés de "généricité", d'indépendance par rapport aux projets.

4. QUALITÉ DES RÉSULTATS OBTENUS

L'acceptation de la complexité amène à reconsidérer nos capacités de modélisation des systèmes. La prise en compte de la variété nécessaire au fonctionnement du système ainsi que l'interaction entre les différents composants conduit en effet à la quasi-impossibilité de comprendre intuitivement le fonctionnement des systèmes, compte tenu de nos capacités d'interprétation (Legay, 1986a). Les outils de synthèse et de compréhension tels que l'analyse de données et les systèmes experts prennent ici toute leur dimension en permettant de pallier notre déficience. Par contre, la seule prospective qu'autorisent ces outils est la description d'une évolution possible parmi un ensemble de trajectoires différentes.

La modélisation de systèmes complexes apparaît ainsi un domaine privilégié pour l'utilisation de simulations et la production de scénarios. Ce type d'approche donne à considérer trois types de problèmes liés à la complexité des systèmes étudiés: des problèmes de calibration, de validation et de robustesse.

4.1- Le problème de la calibration

Ce problème semble principalement lié à la combinatoire des interactions entre composants du système; problème que l'on peut évoquer sur un exemple:

Dans le cadre du projet MOPA, une modélisation très simple a été réalisée portant sur la dynamique d'une pêcherie particulière de la côte nord du Sénégal (Le Fur, 1993c). L'objectif était de déterminer comment et pourquoi, suite à une perturbation de

l'environnement, des transferts de pêcheurs se réalisaient d'une communauté A dite "réservoir", assez nombreuse, vers une communauté B auparavant insignifiante. La calibration d'un tel modèle dans lequel seules deux communautés sont mises en interaction consiste à documenter deux relations (A-->B, B-->A) à partir de l'information disponible sur les effectifs, les rendements et les prix. Pour affiner la modélisation il est apparu nécessaire de ne plus considérer la population d'origine comme un réservoir, mais comme un composant dont les fluctuations devaient être prises en compte dans le modèle. Pour procéder à ce raffinement du modèle, la communauté A a été divisée en trois communautés interdépendantes. Compte tenu des interactions, il est alors devenu nécessaire de décrire 12 relations tandis que l'on ne procédait qu'à un doublement de l'information disponible (effectifs, rendements) sur la dynamique de ce "système" élargi. Le nombre de relations à décrire croît ainsi beaucoup plus vite que l'information disponible pour les calibrer.

4.2- Le problème de la validation

Dans un contexte multi-variable, un des problèmes que soulève la modélisation est la difficulté de valider les résultats obtenus. Il est en effet très difficile de déterminer, parmi un jeu de variables dynamiques mises en oeuvre pour simuler une situation, lesquelles sont superflues, nécessaires, suffisantes. Pour cette raison, la sur-paramétrisation constitue souvent un reproche adressé aux modèles de simulation de systèmes complexes.

Par exemple, dans le cadre du projet MOPA, les résultats obtenus se présentent sous la forme de scénarios simulés dans lesquels fluctuent simultanément des variables d'ordre social et individuel (ex., habitudes des pêcheurs), tactique (effectif des différentes communautés selon leur pratique), économique et biologique. La qualité descriptive du modèle ne peut, dans ce contexte, qu'être globalement appréciée par différents experts, scientifiques spécialistes d'une discipline donnée. Cette seule évaluation apparaît cependant difficile dans la mesure où même deux experts d'une même discipline n'auront pas forcément le même point de vue sur un scénario donné. Deux méthodes peuvent contribuer à améliorer la rigueur de la validation: la validation par transposition et le choix d'indicateurs.

Validation par transposition ou analogie : C'est une approche comparative qui consiste à transposer le modèle développé sur un autre domaine pour lequel une problématique similaire aurait pu être développée. Dans le cadre du projet MOPA, la côte nord du Sénégal a servi de support à l'élaboration et à la calibration du modèle. L'évaluation des performances du modèle peut alors être envisagée en l'appliquant par exemple au domaine de la côte Sud qui présente des similarités et des spécificités. Cette procédure doit permettre de faire la part, au sein du modèle, des structures et mécanismes locaux, spécifiques aux différents domaines modélisés, et de ceux qui sont plus génériques et répondent à la problématique de départ. En fonction du projet que l'on a formé pour le modèle, on peut concevoir une gradation dans le degré de similarité entre le domaine modélisé et celui qui sert de support à la validation (par exemple comparaison côte Nord - côte Sud pour la modélisation de la pêche au Sénégal; comparaison pêche - agriculture pour la modélisation des interactions environnement - sociétés, etc.). Bien que ce type de validation soit important pour déterminer la valeur d'un modèle donné, il repose encore sur des critères subjectifs.

Choix d'indicateurs : afin de pouvoir tester la validité du modèle, il est possible de définir des indices de qualité. Ce sont des variables jugées fédératrices d'un ensemble de dynamiques du système modélisé et pour lesquelles on doit disposer d'informations au préalable. La validation par indicateurs repose sur l'hypothèse qu'une représentation correcte des fluctuations de ces indicateurs permet de conclure à une modélisation adéquate des autres facteurs avec lesquels l'indice est en interdépendance. On peut ainsi, par confrontation des évolutions observées et simulées de ces indicateurs, obtenir une validation quantitative de l'ensemble du modèle.

Le problème posé par l'utilisation d'indicateurs est double et vient de la nécessité de les déterminer a priori. D'une part, on conçoit que leur sélection, effectuée a priori, est difficile puisque l'on ne bénéficie pas encore de la connaissance du système que permet la modélisation. D'autre part, il s'avère que le choix d'indicateurs oriente ensuite fortement la démarche de modélisation.

Dans le projet MOPA, une première approche a été envisagée dans laquelle toute la connaissance qui pouvait être disponible sur le système serait modélisée sous forme d'une compilation de règles de toutes natures que le système expert serait chargé de

gérer. Cette somme d'information, même réduite, avait le grand avantage de conserver la multiplicité des domaines en interdépendance. Il s'est cependant avéré impossible de parvenir à une quelconque validation, autre que qualitative, des scénarios produits. La nouvelle approche qui a alors été retenue et développée est fondée sur le choix d'un indicateur de dynamique: l'évolution du nombre de pêcheurs pratiquant une tactique donnée. En termes de validation, cette approche s'avère très satisfaisante puisque les dérives des simulations par rapport aux fluctuations observées de cet indicateur peuvent être considérées comme autant de facteurs non, ou mal, pris en compte et qu'il est nécessaire d'étudier. Cependant il s'est avéré que l'ensemble de la modélisation n'a plus alors porté que sur cet aspect, transformant la modélisation systémique du système pêche artisanale (l'objectif à atteindre) en une analyse réductionniste des changements tactiques des pêcheurs. L'utilisation d'indicateurs pour développer le modèle a alors été progressivement réduite.

L'approche par le biais d'indicateurs, bien que permettant la validation et facilitant la démarche de modélisation, peut ainsi conduire à une dérive par rapport à la problématique initiale, conçue pour rendre compte de la complexité du système. Elle ne constitue donc pas forcément une démarche adaptée à l'étude d'un système complexe.

4.3- Le problème de la robustesse : une impossible exhaustivité

La dimension temporelle est inséparable de l'étude des systèmes complexes. Il apparaît en effet le plus souvent qu'un système est tel qu'on le perçoit par le fait de son évolution. Les processus diachroniques et l'auto-organisation forgent petit à petit la complexité d'un système, sa variété de comportement et son "expérience"⁷. Dans ce contexte, reproduire la dynamique d'un système complexe impliquerait de simuler l'ensemble de l'histoire du système ce qui est foncièrement impossible. On peut bien sûr espérer l'existence de réducteurs de la complexité (Le Moigne donne quelques indications à ce sujet). Mais il faudra toujours douter de la robustesse du modèle, dans la mesure où l'on pourra toujours oublier d'exprimer dans le modèle "le" comportement adaptatif que le système a développé et qui assurera la réponse à une perturbation particulière.

⁷ "La complexité est plus encore celle de l'héritage d'un passé même récent que celle des mécanismes du présent" (Legay, 1986b)

"If we do not know why the system has evolved to be what it is, then we cannot say what the consequences of a given policy will be" (Allen and McGlade, 1987).

CONCLUSION

"L'acceptation de la complexité est une décision" (Legay, 1986b) ; elle implique de nombreuses contraintes, des questionnements, des imprécisions et des incertitudes. L'utilisation de nouveaux cadres conceptuels (systémique) et de nouveaux outils (intelligence artificielle, simulateurs informatiques performants), bien que contraignante, permet cependant d'aborder la complexité et de produire des connaissances nouvelles sur le fonctionnement des exploitations halieutiques.

Ce type d'approche ne se substitue pas aux représentations sectorielles évoquées dans l'introduction car l'une et l'autre résultent de projets distincts. La confrontation des résultats obtenus par ces voies de recherche différentes peut par contre conduire à des éclairages mutuels et améliorer encore notre compréhension du fonctionnement des exploitations halieutiques.

BIBLIOGRAPHIE

- Allen P.M. and J.M. McGlade, 1987 - Modelling complex systems; fisheries examples. Cranfield international ecotechnology research center; rep. from the third united nations university global learning division workshop, Cranfield, UK, 26-30th oct., 1987, 125p. et *European J. of Operational Research*, 30, 1987:147-167.
- Bailly C., J.F. Challine, H.C. Ferri, P.Y. Gloess et B. Marchesin, 1987 - Les langages orientés objet. Cepadues Ed., 223 p.
- Bertalanffy, L. von., 1973 - *Théorie Générale des Systèmes*. Dunod (ed.), 298 pp.
- Bousquet, F. et C. Cambier, 1991 - Transfert d'échelle et univers multi-agents: le cas de la pêche dans le Delta Central du Niger. in: "le transfert d'échelle". Symposium Orstom Seminfor 4, Mullon, C. (ed). Collection colloques et séminaires, Orstom publications, Paris, 405-423.
- Bousquet F., C. Cambier, C. Mullon et J. Quensièrre, 1992 - Simulating fishermen society. In: *Proceedings, Simulating Societies Symposium*, University of Surrey, April 1992, 18 pp.
- Chaboud C. et M. Deme, 1988 - Ressources instables et pêches semi-industrielles, les exemples sénégalais et ivoiriens (note préliminaire). Communication au groupe de travail Pêche-Climat, Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 12-17 décembre 1988, Dakar, 28 pp.

- Champagnat C., A. Caverivière, C. Conand, P. Cury, J.R. Durand, A. Fontana, A. Fonteneau, P. Fréon et A. Samba, 1983 - Pêche, biologie et dynamique du tassergal (*Pomatomus saltator*, L., 1766) sur les côtes sénégal-mauritaniennes. Trav. Doc. Orstom, Paris, 168, 279 pp.
- Chaussade J., 1991 - Les sciences sociales et la pêche artisanale. In: "La recherche face à la pêche artisanale", Symp. Int. Orstom-Ifremer, Montpellier, France, 3-7 juillet 1989, J.R. Durand, J. Lemoalle et J. Weber (eds.). Paris, Orstom, 1991, t.II, 973-981.
- Crozier M. et E. Friedberg, 1977 - *L'acteur et le système*. Seuil (ed), coll. points, 500 pp.
- Destouches J.L., 1977 - Systèmes, modèles, prévisions. Rev. intern. Systémique, vol.4, no4, 1990, 471-488.
- Diday E., 1987 - Introduction à l'approche symbolique en Analyse des Données. Actes des journées symboliques-numériques pour l'apprentissage à partir des données. Diday, E. et Y. Kodratoff (Eds.), CEREMADE, Univ. Paris-IX. Dauphine, 30 pp.
- Ecoutin J.M., 1991 - Adaptabilité d'une flottille de pêche artisanale à la variabilité des ressources instables. In: Variabilité, instabilité et changements des pêcheries ouest-africaines; Cury P., Roy C. Eds., 466-476.
- Farreny H. et B. Gallab, 1987 - *Eléments d'intelligence artificielle*. Hermes (ed.), coll. Traité des nouvelles technologies, série Intelligene Artificielle, 367 pp.
- Ferber J., 1989 - *Objets et agents : une étude des structures de représentation et de communications en Intelligence Artificielle*. Thèse doctorat, Univ. Paris VI, 498pp.
- Ferraris J. et A. Samba, 1992 - Variabilité de la pêche artisanale sénégalaise et statistique exploratoire. In: *Seminfor 5: Statistique impliquée*, Laloë, F. (coordon.), coll. colloques et séminaires, Orstom (Ed.), Paris, pp:169-190.
- Ferraris J. et J. Le Fur, 1993 - Méthodes d'analyse et de représentation d'un système d'exploitation: synergies et redondances. In: *Forum Halieumetrics*, Rennes, 29-31 juillet 1993, communication no 36, session Fonctionnement des systèmes d'exploitation, Coll. Colloques et Séminaires, Orstom, Paris, sous presse.
- Ferraris J., V. Fonteneau et A. Sy Bo, 1993 - Structuration de la base de données "Pêche Artisanale" et chaîne de traitement informatique. Arch. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 39 pp. + annexes.
- Feyerabend P., 1979 - *Contre la méthode (Esquisse d'une théorie anarchiste de la connaissance)*. Seuil (Ed.), coll. Points-Sciences, Paris, 350 pp.
- Frontier S. et D. Pichot-Viale, 1992 - Ecologie et systémique. In: *Systémique: théorie et applications*. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordonnateurs), Lavoisier TecDoc (Ed.), Paris, 1992, 224-247.

- Gaye A.B., 1992 - Déterminants socio-culturels des tactiques de pêche des communautés léboues et Guet-Ndariennes au Sénégal. Rapports de recherche, Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 20+37pp.
- Kébé M., 1991 - Effets non prévus des interventions pour le développement. L'exemple de la pêche cordière au Sénégal. In: La recherche face à la pêche artisanale, Symp. Int. Orstom-Ifremer, Montpellier, France, 3-7 juillet 1989, J.R. Durand, J. Lemoalle et J. Weber (eds.). Paris, Orstom, 1991, t.II, 905-912.
- Laloë F., 1992 - Collecte d'information sur la pêche artisanale au Sénégal. In: Seminfor 5: Statistique impliquée, Laloë, F. (coordon.), coll. colloques et séminaires, Orstom (ed.), Paris, pp: 37-45.
- Laloë F. et A. Samba, 1990 - La pêche artisanale au Sénégal: ressource et stratégies de pêche.. Etudes et Thèses, Paris, Orstom, 395p.
- Laloë, F., J.P. Chauveau et A.Samba, 1991 - Du schéma d'aménagement à ses résultats réels: "l'effet informel" dans l'aménagement des pêches artisanales Sénégalaises. In: La recherche face à la pêche artisanale, Symp. Int. Orstom-Ifremer, Montpellier, France, 3-7 juillet 1989, J.R. Durand, J. Lemoalle et J. Weber (Eds.). Paris, Orstom, 1991, t.II, 999-1006.
- Le Fur J., 1993a - Dynamique du système Pêche artisanale et intelligence artificielle: le projet MOPA. in: Symp. Eval. Ress. Pêch. Artis., 02/93, Dakar, Sénégal, coll. Colloques et Séminaires, Orstom, Paris, 13 pp., sous presse.
- Le Fur J., 1993b - Apports et difficultés d'une modélisation systémique des exploitations halieutiques. In: "Forum Halieumetrics", Rennes, 29-31 juillet 1993, communication no 36, session Fonctionnement des systèmes d'exploitation; coll. Colloques et Séminaires, Orstom, Paris, sous presse.
- Le Fur J., 1993c - Modeling adaptive fishery activities facing fluctuating environments: an artificial intelligence approach. In: Intern. Workshop: "AI in Agriculture, Natural Resources, and Environmental Sciences, Chambery, august 29-september 3, 1993, soumis à: AI Applications, Natural resources, Agriculture, and Environmental Sciences.
- Le Gallou F., 1992a - Nature et Objectifs de la Systémique. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordon.), Lavoisier TecDoc (Ed.), Paris, 3-13.
- Le Gallou F., 1992b - Décomposition des systèmes. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordon.), Lavoisier TecDoc (Ed.), Paris, 91-100.
- Legay J.M., 1986a - Contribution à l'étude de la complexité dans les systèmes biologiques. XII^e colloque international d'économétrie appliquée, Sophia Antipolis, France, 13-14 mars 1986, 19 pp.

- Legay J.M., 1986b - Méthodes et modèles dans l'étude des systèmes complexes. Les cahiers de la recherche, développement, n°11, août 1986, (introduction présentée au colloque national du ministère de la recherche et de la technologie: "diversification des modèles de développement rural: questions et méthodes", 6 pp.
- Le Moigne, J.L., 1990 - La modélisation des systèmes complexes. Dunod (Ed.), Paris, 178pp.
- Lesourne, J., 1990 - Economie de l'ordre et du désordre. Economica, coll. "Economie et Statistiques avancées", 1990, introduction, 7-25.
- Masini G., A. Napoli, D. Colnet, D. Léonard et K. Tombre, 1989 - Les langages à objets (langages de classes, langages de frames, langages d'acteurs). Interéditions, 584 pp.
- Morand P., J. Quensière et C. Herry, 1991 - Enquête pluridisciplinaire auprès des pêcheurs du delta central du Niger: plan de sondage et estimateurs associés. In: *Seminfor 4: Le transfert d'échelle*, Mullon, C. (coordon.), coll. colloques et séminaires, Orstom (ed.), Paris, pp: 195-212.
- Pechart, 1982 - Les enquêtes sur la pêche artisanale sénégalaise au Centre de Recherches Océanographique de Dakar-Thiaroye. Arch. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, no112, 28 pp.
- Périnel E., 1992 - Analyse numérique/symbolique des tactiques de pêche artisanale au Sénégal. Rapp. DEA Mathématique appliquées aux sciences économiques, Univ. Paris-IX. Dauphine, 54 pp.
- Quensière J., 1991 - Systémique et pluridisciplinarité: l'exemple du programme d'étude de la pêche dans le delta intérieur du Niger. Pages 475-492 in: *Proceedings, Seminfor 4: le transfert d'échelle*, Mullon, C., scientific editor. Collection colloques et séminaires, Orstom publications, Paris, pp: 475-492.
- Rey H., 1992 - Systèmes de gestion. In: *Séminaire International ressources et pêche côtière en Méditerranée septentrionale*, Ancone, 16-20 décembre 1992, pp: 65-85.
- Walliser B., 1977 - Systèmes et modèles (introduction critique à l'analyse des systèmes). Seuil (ed.), Paris, 245 pp.
- Weber J., 1982 - Les enquêtes socio-économiques au centre de recherches océanographiques de Dakar-Thiaroye. Arch. Centr. Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, no110, 87 pp.
- Weber J., J.M. Betsch et P. Cury, 1990 - A l'interface homme-nature: les ressources renouvelables. communication présentée au colloque CNRS : Recherche et Environnement, Strasbourg, 24-25 sept. 1990, 14pp.