*Premier Forum Halieumétrique, Rennes, 29/06 au 01/07/1993*
*Session 4 :* ***Fonctionnement des systèmes d'exploitation***

# APPORTS ET DIFFICULTES D'UNE MODELISATION SYSTEMIQUE DES EXPLOITATIONS HALIEUTIQUES

Jean Le Fur

*ORSTOM,*
*BP 1386, Dakar-Sénégal*

## RESUME

La systémique apporte depuis peu un nouveau regard sur la structure et le fonctionnement des systèmes complexes. Elle constitue donc une perspective intéressante pour tenter de décrire et de comprendre les exploitations halieutiques.
Si certains concepts propres à cette méthode (globalité, interaction) s'avèrent pertinents et efficaces dans ce domaine, d'autres sont en revanche plus difficiles à exploiter (émergence, reconnaissance des centres de décision, problèmes de validation). L'objectif de cette communication est de discuter l'intérêt et l'adéquation de l'approche système à la modélisation des exploitations halieutiques. Les thèmes évoqués sont inspirés d'une expérience de modélisation systémique appliquée à la dynamique de la pêche artisanale au Sénégal.

Mots clés : *systémique, système complexe, modélisation, exploitation halieutique.*

## ABSTRACT

Systemic theory provides a new sight on complex systems structures and functions. It therefore constitutes a promising outlook to understand and describe halieutic exploitation.
Some concepts that are proper to this method (global perception, interaction) are relevant to this field. Some are however difficult to manage (emergence, decision centre recognition, validation problems). The purpose here is to discuss the interests and adequations of the systemic approach in the field of the halieutic exploitation modelling. A systemic modelling experiment of the Senegalese (West Africa) fishery system supports the discussion.

Keywords : *systemic theory, complex system, modelling, halieutic exploitation.*

*L'ambition de se placer au niveau des systèmes, ce qui me paraît indispensable déjà depuis de nombreuses années, s'accompagne de difficultés considérables lorsqu'il s'agit de les aborder, et a fortiori d'en parler (Destouches, 1977).*

## INTRODUCTION

Dans le domaine des systèmes d'exploitation halieutique, de nombreux exemples de gestion de l'activité à travers celle de la ressource et de la ressource à travers celle de l'activité ont montré que la gestion d'un système par un seul de ses éléments conduisait à des effets pervers (Rey, 1992). Des progrès ont été accomplis pour pallier à ces distorsions. En effet, le temps n'est plus où les recherches sur le système pêche posaient la biologie au centre du système (Fonteneau et Champagnat, 1977), où encore les études économiques considéraient les aspects sociaux sous l'angle des "obstacles" socio-culturels (Weber, 1982). On admet aujourd'hui qu'aucun déterminant ne peut expliquer à lui seul le fonctionnement et la dynamique du système pêche mais qu'en revanche, en raison de leur interdépendance, chacun peut être à l'origine d'un dysfonctionnement ou d'un blocage (Chaboud et Fontana, 1992).

Le développement de recherches intégrées et globales est cependant récent et le plus souvent limité à des schémas bi-disciplinaires (bio-économiques, éco-biologiques ou économico-biologiques) qui paraissent encore insuffisants (Charles, 1991). Parmi les raisons qui expliquent ces insuffisances, on peut notamment invoquer le nombre de domaines différents pour lesquels les administrateurs des systèmes d'exploitation doivent attendre des informations de la recherche (e.g., Stevenson *et al.*, 1982). Il apparaît ainsi nécessaire d'étendre encore la perception que nous avons des systèmes d'exploitation halieutiques sous la forme d'ensembles multi-composantes. Ceci à la fois pour mieux comprendre l'objet d'étude, et ensuite pour mieux réduire les effets "pervers" déjà évoqués.

Qui pense "interdépendance" et "système" en vient aisément à "systémique". La systémique est une conception déjà ancienne[1]. Vraiment théorisée par Wiener (au travers de la cybernétique) et Bertallanfy, elle propose de nouveaux paradigmes pour l'étude des systèmes. D'après Le Gallou (1992), ce sont surtout les études sur la représentation des systèmes reconnus comme "trop complexes pour pouvoir être efficacement abordés par les méthodes classiques" qui bénéficieraient de l'apport de la systémique. Plus précisément, "dans tous les domaines où se posent des problèmes de frontière, d'interdépendance, de cohérence, d'organisation, de structure". La modélisation des systèmes d'exploitation halieutique entre dans ce cadre. Dans ce

---

[1] *C'était déjà le 'mode de pensée' oriental (Durand, 1990); dans un autre domaine, Le Gallou (1992a) avance que nombre de décideurs (Ch. de Gaulle, E. Faure) se sont révélés détenteurs et utilisateurs d'approches systémiques.*

## OBJECTIFS DE LA SYSTÉMIQUE

Les objectifs de la systémique, tels qu'ils sont perçus par les théoriciens et les praticiens de cette approche sont divers.

Ils portent d'abord sur le **rejet des méthodes** analytiques et cartésiennes qui sont considérées comme une **impasse** aux problèmes que la recherche affronte actuellement:

- «Si les "Préceptes" d'Aristote et le "Discours de la Méthode" ont été à la base de spectaculaires et incontestables progrès dans les domaines techniques, biologiques et économiques, ils sont demeurés **insuffisants** pour expliquer et comprendre l'**évolution** de phénomènes complexes au sein de leur environnement **non moins complexe.**» (*Chaboud et Fontana, 1992*).
- «Les spécialistes des principaux domaines scientifiques, de la physique sub-atomique à l'Histoire, **sont d'accord** sur le fait qu'il faut **réorienter** la Science» (*Bertallanfy, 1968*).
- «Si l'on n'aperçoit pas la **nécessité** d'une vue synthétique des **problèmes**, une fois atteinte la limite des développements analytiques **possibles**, on se trouve devant un mur» (*Destouches, 1977*).

Ils offrent aussi une approche plus constructive, proposant des **solutions à ces problèmes**:

- «La systémique **contribue** par sa démarche transdisciplinaire et ses méthodes de représentation et de modélisation à **décloisonner** les domaines de recherche, d'étude et de réalisation et à **favoriser** l'adaptation au changement et l'innovation.» (*Le Gallou, 1992*).
- «Ce courant semble vouloir répondre à trois préoccupations essentielles: la volonté de **restaurer** une approche plus synthétique qui reconnaisse les propriétés d'interaction dynamique (...), le besoin de **mettre au point** une méthode qui permette de mobiliser et d'organiser les connaissances (...), la nécessité de **promouvoir** un langage unitaire ...» (*Walliser, 1977*).
- «Des concepts comme l'organisation, la totalité, la directivité, la téléologie et la différenciation sont étrangers à la physique conventionnelle. Cependant, **ils surgissent partout**, en biologie, en sciences du comportement et en sciences sociales; **ils sont en fait indispensables** si l'on touche aux organismes vivants et aux groupes sociaux (...) La théorie générale des systèmes est en principe capable de **donner à ces concepts des définitions exactes** et de leur appliquer, dans des cas appropriés, une analyse quantitative.» (*Bertallanfy, 1968*)

**Figure 1**

domaine en effet interviennent le plus souvent simultanément des composantes liées à des ressources renouvelables (peu ou non maîtrisées), d'autres correspondant à une économie multi-échelles (nationale et internationale), sans compter celles, fondamentales, spécifiées par les comportements de sociétés humaines; comportements que l'on conçoit très diversifiés. La complexité de certains de ces systèmes est flagrante et, dans le cadre de la modélisation des systèmes d'exploitation halieutique, on se trouve confronté à ce problème. Il semble même possible d'affirmer que ce type de système fait partie de ceux qui atteignent le plus haut niveau de complexité, du fait de l'intégration d'un système social dans leur organisation (Lesourne, 1976).

Sur la figure 1 sont présentés des points de vue d'auteurs importants qui, critiques ou constructifs, permettent de mieux cerner le champ d'application de la théorie des systèmes. Les objectifs très généraux qui y sont présentés cadrent bien avec les problèmes rencontrés dans le domaine de la représentation des systèmes d'exploitation halieutiques et semblent justifier a priori l'utilisation de cette approche. D'un point de vue plus pratique cependant, il ne semble pas que l'on puisse aisément dégager un consensus sur la façon d'appréhender un système, le terme même de "système" ne faisant pas l'objet d'une définition reconnue et unique (voir Figure 2). **On peut ainsi se demander dans quelle mesure la systémique peut *(i)* apporter des solutions aux problèmes spécifiques que pose la représentation des systèmes d'exploitation halieutique, ou au contraire *(ii)* présenter des particularités qui la rendent difficilement applicables dans ce domaine. Ce sera l'objet de ce document.**

Compte tenu du nombre de concepts qu'aborde la théorie des systèmes, le texte qui suit ne prétend pas définir exhaustivement le champ d'application de cette approche dans le domaine de la modélisation des systèmes d'exploitation. L'objectif est d'aborder quelques points qui apparaissent particulièrement critiques vis à vis de la problématique halieutique évoquée. Seront ainsi abordés:

- la portée de certains concepts généraux (globalité, variété, téléonomie) vis à vis de la problématique de représentation des systèmes d'exploitation,
- la validité du type d'informations généralement disponibles sur ces systèmes, compte tenu des besoins de la systémique,
- l'adéquation des outils de modélisation existant à la prise en compte d'une telle approche.

On tentera enfin de conclure sur une évaluation de la validité globale de cette approche dans le cadre de la modélisation des systèmes d'exploitation halieutiques.

On notera que de nombreux points discutés ici ne s'appliquent pas seulement à la modélisation des systèmes d'exploitation halieutique mais, plus généralement, à la modélisation de systèmes complexes dans lesquels intervient une composante liée aux sociétés humaines. Enfin, systémique, approche système, théorie des systèmes ou théorie systémique seront ici considérés comme équivalents.

# Un «système» est:

un *être étrange*, ensemble d'éléments liés par des ensembles de relation (*Lesourne, 1990*)

un *concept* formé à partir de trois idées essentielles: *(i)* celle d'un ensemble en rapport réciproque avec son environnement (ces échanges lui assurant une certaine autonomie), *(ii)* celle d'un ensemble formé de sous-systèmes en interaction, cette interdépendance lui assurant une certaine cohérence, *(iii)* celle d'un ensemble subissant des modifications plus ou moins profondes dans le temps, tout en conservant une certaine permanence (*Walliser, 1977*)

un *ensemble*
- d'éléments en interaction dynamique organisés en fonction d'un but. (*De Rosnay, 1975*).
- d'éléments liés par un ensemble de relations (*Lesourne, 1976*).
- d'unités en inter-relations mutuelles (*Bertallanfy, 1951*).
- dont toutes les parties sont interdépendantes, qui possède donc un minimum de structuration, ce qui le distingue du simple aggrégat, et qui dispose, en même temps, de mécanismes qui maintiennent cette structuration et qu'on appellera mécanismes de régulation. (*Crozier et Friedberg, 1977*).
- possédant une structure (*Robert de la langue Française*).
- (formant une identité ou une unité cohérente et autonome) d'objets (ou éléments réels ou conceptuels (individus, actions...)) organisé (muni d'un ensemble de relations, d'interrelations mutuelles, d'interactions dynamiques (organisation ou structure)) en fonction d'un but (ou d'un ensemble de buts, objectifs, projets, finalités ou fonctions de base) et immergé dans un environnement (environnement, univers, ou sur-système, méta-système). (*Le Gallou, 1992a*)

un *modèle* de nature générale, c'est-à-dire une analogie conceptuelle entre certains caractères assez universels pour être observés (*Bertallanfy, 1968*).

un *objet complexe*
- dont les parties ou composantes sont liées de telle façon que l'objet se comporte, à certain égards, comme une unité et non pas comme la simple réunion de ses éléments (*Bunge, 1983*).
- formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relations (*J.Ladrière, cité dans Durand, 1990*).

une *totalité organisée* faite d'éléments solidaires ne pouvant être définis que les uns par rapport aux autres en fonction de leur place dans cette totalité (*Saussure, cité dans Durand, 1990*).

une *unité globale organisée* d'interrelations entre éléments, actions ou individus (*Morin, cité dans Durand, 1990*).

un *outil conceptuel*, une *création de l'esprit*, un *support représentatif et conceptuel* qui permet d'introduire la permanence de l'environnement et de ses liaisons, la présence des éléments et des relations ou structures, la prédominance des finalités et des objectifs, la distinction du fonctionnel et de l'organique, les notions d'évolution diachroniques (Le Gallou, 1992a)

{S} = {E R; O, Re} (avec {*E*}: ensemble des éléments constituants, {*R*}:ensemble des relations internes (ou structure), {*O*}: ensemble d'objectifs (et de finalités), {*Re*}: ensemble de relations extérieures (avec l'environnement)). (Le Gallou, 1992a).

La réponse à la question "qu'est ce qu'un système ?" n'est ni évidente ni triviale (*Destouches, 1977*)

**Figure 2**

## 1 - PORTEE DE QUELQUES GRANDS CONCEPTS

L'approche système développe un certain nombre de "grands" concepts qui la définissent. La prépondérance de l'un ou l'autre est variable selon les auteurs qui insistent par exemple sur la totalité ou la globalité (Bertallanfy), le contrôle et la communication (Wiener), la rétroaction (De Rosnay), la téléonomie (Le Moigne), la complexité (Legay), l'organisation (Morin), l'auto-organisation et l'ordre (Lesourne), ou encore la structure (Destouches). Nous aborderons ici trois de ces concepts dont la prise en compte nous paraît avoir des conséquences importantes vis à vis de la modélisation des systèmes d'exploitation halieutiques: la globalité, la variété et la téléonomie.

### 1.1 - Globalité

Un des intérêts majeurs d'une approche globale réside dans la possibilité de hiérarchiser les domaines d'intérêt en fonction des objectifs de la modélisation (nous reviendrons sur cette notion d'objectif). Cette hiérarchisation qu'autorise une vue d'ensemble permet par exemple :

- **de montrer l'inutilité d'une grande précision dans telle évaluation compte tenu de sa relation avec un autre domaine pour lequel on ne dispose que d'informations peu précises.** Ainsi, dans le cadre de l'étude de la pêche artisanale au Sénégal, dispose-t-on d'une connaissance relativement précise sur les prix des espèces au débarquement, alors que l'on ne dispose que de peu d'informations sur les prix d'achat que pratiquent les usines. Il devient ainsi très difficile d'appréhender le fonctionnement de l'ensemble de la filière. Cette méconnaissance est particulièrement critique en ce qui concerne le comportement des mareyeurs intermédiaires sur lesquels reposent certaines composantes importantes de la dynamique de l'exploitation plus généralement. Un rééquilibrage de l'effort de collecte, dans la mesure où il serait possible, augmenterait significativement la connaissance que l'on a de la dynamique de cette filière sans augmentation de l'information totale recueillie (Sarr *et al.*, 1993).
- **de révéler que la bonne connaissance d'un secteur facilite parfois l'observation d'un autre**. Par exemple, on a souvent constaté des distorsions entre plans de développement et résultats obtenus suite à l'application de ces plans (e.g., Kébé, 1991, Chaboud et Deme, 1988). Ces distorsions seraient dues au fait, selon Laloë *et al.* (1991), que l'"énergie insufflée par une action de développement s'exprime en fin de compte sur certaines composantes **non utilisées** pour la description du système"[2]. Il apparaît ici que la compréhension du comportement des acteurs peut permettre, grâce à une vue plus élargie, de prévoir de façon plus sûre le devenir d'une

[2]***Erreur! Source du renvoi introuvable.****Concernant par exemple l'interaction entre pêches industrielles et artisanales, Laloë et al. (1991) schématisent de tels scénarios de la façon suivante: (a) un investissement est consenti pour l'armement d'unités industrielles exploitant une nouvelle ressource, (b) ce nouveau marché conduit à un regain d'intérêt pour la ressource concernée de la part des unités de pêche artisanale, (c) les unités artisanales se révèlent plus compétitives et mettent en faillite les unités industrielles (d) le marché ainsi créé disparaît entraînant la disparition des unités industrielles et le retour des unités artisanales vers leurs activités antérieures.*

subvention, que lorsque cette prévision se cantonne au calcul strictement économique par exemple.

• **d'harmoniser les échelles d'étude de deux domaines en interaction.** Par exemple, dans le cadre d'une modélisation explicative de la dynamique des pêcheries, le pas d'échantillonnage à retenir pour la collecte des résultats de débarquement doit être déterminé à la fois en fonction des pas de temps nécessaires à une évaluation quantitative des ressources mais aussi, en fonction des temps de réponse des exploitants à une modification de la distribution des captures; donnée qui n'est pas à proprement parler d'ordre biologique.

**On notera qu'a priori, toutes ces informations pertinentes ne peuvent être rassemblées par des études disciplinaires classiques. En ce sens, systémique et approche pluridisciplinaire sont étroitement liées.** Le strict point de vue de la pluridisciplinarité, sa nécessité et sa faisabilité ont déjà été souvent mis en avant et largement discutés (concernant la pêche artisanale par exemple: Chauveau et Weber, 1991, Quensière, 1991). Nous reviendrons sur les problèmes qu'elle peut poser dans le cadre du deuxième chapitre (validité des informations disponibles).

## 1.2 - Variété

Pour être viables, les systèmes vivants complexes doivent posséder certaines propriétés fondamentales. Parmi celles-ci, on peut citer la nécessité d'établir des relations avec leur environnement, celle d'établir une cohérence interne (assurée par une organisation). Ces deux contraintes ont en retour pour conséquence que les systèmes doivent posséder la propriété de pouvoir s'adapter aux fluctuations; à la fois celles que génère leur environnement et celles qu'ils génèrent par leur dynamique interne propre. La réponse qu'opposent généralement les systèmes naturels et sociaux à ce problème réside dans le développement d'une grande variété de constituants. La variété est une propriété que l'on peut reconnaître dans la majorité des systèmes vivants complexes; elle est bien connue des généticiens et a été récemment remise au goût du jour par les problématiques liées à la biodiversité.

La variété apparaît comme un problème pour la modélisation systémique des systèmes halieutiques dans la mesure où, d'une part sa prise en compte ne peut être écartée si l'on veut représenter le fonctionnement de ces systèmes et où, d'autre part, elle induit une complexité qui est, dans l'état actuel de nos connaissances, extrêmement difficile à représenter:

### *1.2.1 - Rôle dans la viabilité des systèmes*

La variété est fondamentale à l'existence d'un système vivant. Elle lui permet de disposer en quelque sorte d'un "réservoir de comportements" dans lequel elle peut puiser pour conserver une certaine marge d'**adaptation aux perturbations**. Un peu

paradoxalement, la variété fournit ainsi au système à la fois une grande résistance au changement et des potentialités de changement, de modifications de sa structure et de son fonctionnement. Une résistance au changement d'abord parce que, par le biais de l'homéostasie[3], une modification d'un des composants pourra d'autant plus facilement être régulée par d'autres mécanismes qu'il y aura une plus grande variété de mécanismes de régulation ou de modulation (i.e. la perturbation sera locale). Changement potentiel ensuite parce que soumis à une perturbation, un système doté d'une variété de composants en possédera plus facilement un qui pourra profiter de la situation (ce qui revient un peu au principe de la mutation/sélection). Dans le domaine des pêches artisanales au Sénégal par exemple, la très grande adaptabilité des pêcheurs est reconnue comme un élément essentiel de la robustesse du système malgré les nombreuses perturbations auxquelles il est et a été soumis (Laloë et Samba, 1990, Gaye, 1992). Cette adaptabilité ne peut s'exprimer qu'à la condition d'une grande variété de comportements possibles. Grâce à la diversité technologique, la polyethnie, les nombreux réseaux de commercialisation, de très nombreuses combinaisons de comportements sont possibles et facilitent l'adaptation au changement.

Il apparaît donc crucial de représenter cette variété lorsque l'on cherche à modéliser un système halieutique qui soit fonctionnel, c'est à dire pérenne et évoluant. Cette variété nécessaire a été abordée par pratiquement tous les théoriciens des systèmes, jusqu'à être mathématisée en relation avec l'entropie (Ashby, 1958, Walliser, 1977). **C'est principalement cette évidence et cette nécessité de la variété qui est responsable de la complexité constatée d'un grand nombre de systèmes et de la difficulté de modéliser les exploitations halieutiques.**

*1.2.2 - conséquences pour la modélisation*

La variété constitutive des systèmes pose un problème sensible en modélisation pour plusieurs raisons.

- La première est que, pour que la propriété de variété soit efficiente, il semble nécessaire qu'elle soit bien supérieure à ce qui est requis par le système pour juste se maintenir (Durand, 1990). Or, pour le modélisateur, il n'apparaît pas immédiat ni évident ni surtout facile de compliquer, a priori gratuitement, le modèle (déjà compliqué) d'un système. Cette complication semble pourtant indispensable.
- La deuxième raison est issue d'une loi, dite "de la variété requise", énoncée en cybernétique par Ashby (1958). Selon cet auteur, pour contrôler un système donné, il faut disposer d'un contrôle dont la variété soit au moins égale à la variété de ce système. Compte tenu du nombre de liaisons différentes qui peuvent être établies entre plusieurs éléments, il ne devient pratiquement plus possible d'espérer représenter cette indispensable variété (Exemples: la variété des états d'un système comportant sept

---

[3]*Un système homéostatique est un système ouvert qui **maintient** sa structure et ses fonctions par l'intermédiaire d'une multiplicités d'équilibres **dynamiques** (De Rosnay, 1975).*

éléments connectés par des relations à double sens et connaissant chacune deux états s'exprime par le chiffre de 2 (De Rosnay, 1975)).

La variété, par confrontation avec l'aléatoire de l'environnement, génère de l'imprévu. Or, c'est précisément cet imprévu qui serait le moteur de l'évolution des systèmes (De Rosnay, 1975). Modéliser l'imprévu pose certainement des problèmes pour la représentation du système mais plus encore pour la portée prévisionnelle du modèle. **Ainsi, à moins de changer d'objectif, les retombées de la recherche systémique sur les recommandations en vue de la gestion des systèmes d'exploitation pourraient s'avérer beaucoup plus modestes que ce que l'on pourrait en espérer.**

### 1.2 - Téléonomie

Une des distinctions majeures entre approche analytique et systémique réside dans la notion, fondamentale pour la quasi-totalité des auteurs, de téléonomie. Elle désigne la nécessité pour un système de poursuivre un but ou au moins, par le jeu des rétroactions négatives (régulation), de se comporter comme s'il en suivait un. **Dépourvu d'objectif ou de finalité, un système est indéfinissable** ("il est indescriptible, avec un nombre de caractéristiques infini", Le Gallou, 1992b). Bertallanfy (1968) propose quatre types de finalités pour un système: la finalité statique ou aptitude, la téléologie dynamique, l'équifinalité et la finalité vraie ou destination.

La finalité des systèmes naturels a été clairement énoncée (Teilhard de Chardin, 1955), objectivement constatée (De Rosnay, 1975), restreinte au monde vivant (Monod, 1970). Pour le cas des exploitations halieutiques, le paradigme d'équilibre, souvent mis en avant dans les modèles, pourrait constituer une interprétation finalisée de leur dynamique. Cependant, il a fait l'objet de nombreuses critiques[4] et, si cette notion d'équilibre doit être retenue, l'équilibre homéostatique correspondrait mieux à la représentation recherchée[5].

---

[4] *Particulièrement, Lesourne (1990) à propos des modèles économiques, précise bien, tout en reconnaissant l'apport de ce paradigme, que, dans la majorité des cas, cet équilibre ne correspond pas à l'aboutissement d'une histoire (téléonomie) mais qu'"il caractérise seulement la propriété de situations où aucun des acteurs ne souhaite modifier son comportement, compte tenu de son environnement et de son information"**Erreur! Source du renvoi introuvable.**; ce qui ne correspond pas à l'objectif.*

[5] *Du fait de la variété, le comportement des systèmes complexes est, on l'a vu, très particulier: difficilement prévisible, il se caractérise à la fois par l'émergence de propriétés nouvelles et une grande résistance au changement. Ce comportement introduit peut-être ici un nouveau paradoxe (un syllogisme ?). En effet, si: 1° la variété, par le jeu de l'homéostasie, induit la stabilité; 2° la variété par son organisation induit la complexité et donc la variabilité, alors 3° la variabilité implique(rait) la stabilité. Apparaîtrait alors l'idée qu'en fait, ce serait l'équilibre, et non l'inverse, qui constituerait la caractéristique fondamentale d'un système complexe tel que peut l'être une exploitation halieutique.*

La pérennité peut de même constituer une finalité pour l'exploitation. Dans ce cas, modéliser sa dynamique implique de pouvoir représenter les processus qui garantissent cette pérennité. Dans le cas des systèmes vivants, appréhender la pérennité implique essentiellement la représentation d'un métabolisme basal cohérent (*synchronie*) et d'un potentiel (auto)reproductif efficient (*diachronie*, voir Figure 3).

## DIMENSIONS TEMPORELLES DES SYSTEMES

**Définition de la synchronie (*"syn": ensemble, avec le temps*)**

Période ou tranche de temps, relativement brève, pendant laquelle on peut considérer le système (objet ou phénomène) comme maintenu à un stade donné.
C'est-à-dire sans évolution de structure (ou changement de nature) pouvant avoir une influence sensible sur son fonctionnement ou sur son comportement.
Ex. type: relation "organique - fonctionnel" normale, à usure négligeable; contrôlée par un "compte d'exploitation", et située entre deux bilans.

**Définition de la diachronie (*"dia": à travers le temps*)**

Echelle de temps, suffisamment longue, permettant d'observer les évolutions de structure (ou changements de nature) du système, et d'en noter les stades synchroniques successifs.
Cette observation d'évolution n'est pas seulement historique; elle peut tre aussi futurique (présupposition, prévisibilité, prospective...).
Ex. type: "bilans successifs, effectués périodiquement et surtout après tout grand changement; et mesurant les écarts caractéristiques de l'évolution.

**Définition comparée (*définition émergente par quasi-synonymes*)**

| *Appellation*: **SYNCHRONIE** | **DIACHRONIE** |
|---|---|
| *Slogan:* **"ETRE ET FAIRE"** | **"PROVENIR ET DEVENIR"** |
| ***Pôles concernés:*** L'ORGANIQUE ET LE FONCTIONNEL | L'HISTORIQUE ET LE FUTURIQUE |
| *Quasi-synonymes:* | |
| **LE FONCTIONNEMENT** | **L'EVOLUTION** |
| la production | la construction, |
| l'exploitation | la réalisation, |
| la conduite | la conception, |
| la gestion | la ré-organisation, |
| le management | l'investissement, |
| la conservation maintenance | la transformation - changement |
| l'opérationnel | le prévisionnel |
| la tactique | le stratégique |
| le physiologique | le génétique |
| ... | ... |

*In: Le Gallou, 1992b*

**Figure 3**

C'est le plus souvent sur le premier point (*synchronie*) que portent les modélisations des systèmes halieutiques. Il s'agit alors d'affronter les problèmes essentiels de la cohérence et de la pertinence du modèle au niveau de l'organisation interne du système. Le deuxième point (*diachronie*) introduit les notions de résilience, de robustesse, d'irréversibilité et, plus généralement, tout ce qui concerne les réactions du système individualisé à son environnement extérieur. La représentation de ces processus a deux conséquences sur la représentation du système d'exploitation. Tout d'abord, le temps devient ici la dimension pivot de toute représentation. D'autre part, les échelles temporelles caractéristiques permettant d'appréhender ces mécanismes sont a priori assez longues. Dans ce domaine, l'Histoire et les théories évolutionnistes prennent toute leur importance (voir par exemple Boulding (1981), Lesourne (1990) pour l'économie, Allen et Mc Glade (1989), Cury (1988) pour la biologie, Chauveau (1984) pour la sociologie).

Malgré d'importants travaux novateurs (e.g. Allen and Mc Glade, 1989, Nicolis et Prigogine, 1989), ce dernier point fait l'objet d'un nombre beaucoup plus restreint de recherches (Mc Glade and Allen, 1984), que ce soit dans le domaine halieutique ou dans le cadre plus général des systèmes complexes. Dans le cadre de la modélisation et compte tenu des différences d'échelle, ceci semble certainement dû à la difficulté de concilier une représentation de l'un et de l'autre. En d'autres termes, il n'apparaît pas évident en même temps de représenter le fonctionnement de base d'un système et de déterminer ce que vaut cette représentation vis à vis du devenir à long terme du système modélisé. Un principe d'incertitude apparaît ainsi pour lequel **la modélisation d'un aspect de la dynamique du système ne permettrait pas, a priori, de comprendre l'autre.** Ce point constitue un des problèmes majeurs de la modélisation des systèmes complexes.

Dans le cadre de la modélisation, le problème de la finalité peut être résolu partiellement par transposition: selon Le Moigne (1990), la *projectivité* consiste, pour le modélisateur, à définir (subjectivement) les finalités qu'il propose au modèle particulier d'un système complexe sans être tenu de connaître a priori de façon certaine et démontrable les finalités du système. **La modélisation se conçoit donc à travers un objectif (un projet de modélisation), et en fonction de la vue particulière qu'a le modélisateur de son objet d'étude**[6]. Cette approche s'écarte résolument de l'objectivité recherchée qui préside à la modélisation analytique académique. D'autre part, on le verra par la suite, ses répercussions sur la problématique de la représentation sont très nombreuses (voir par exemple Legay, 1986a, Le Moigne, 1990 et pour les exploitations halieutiques, Le Fur, 1993c).

---

[6]*Le Moigne (1990) présente ainsi la parabole de l'ours dans laquelle il montre qu'un modèle comportemental de l'ours blanc peut etre constitué de la seule composition d'un environnement actif: le Pôle Nord et d'un projet: survivre.*

Un système est caractérisé à la fois par sa structure et ses fonctions. Un des grands apports de la systémique réside dans le fait qu'elle place au même plan d'importance les deux aspects (alors que la méthode analytique classique, notamment avec les modèles déterministes, tendait à privilégier particulièrement le fonctionnel au détriment de la structure). Ce point semble important car il permet de fournir des cadres de représentation cohérents et facilite la prise en compte de la globalité des systèmes modélisés.

Les développements théoriques réalisés sur l'approche système offrent une typologie des composants et des processus qui les caractérisent . En termes de structure, cette typologie distingue ainsi au sein des systèmes des *frontières*, des *éléments*, des *réseaux* de communication, des *réservoirs*, des *sources*, des *puits*. Dans cette structure circulent des *flux* de différentes natures. Les modalités de circulation sont formalisées par des *relations* qui peuvent être variées. Il peut ainsi s'agir de *relations simples de cause à effet*, de *relations temporelles* caractérisées par l'existence de *délais* ou *temps de réponse*, d'*interactions* directes ou indirectes (passant par un élément intermédiaire) ou encore de *rétroactions positives ou négatives*. Ces relations ou ensembles de relations entre éléments constitutifs sont orchestrées par des *centres de décision* ou *vannes* (pour une description plus détaillée de chacun de ces composants, voir par exemple De Rosnay (1975), Durand (1990) et, concernant leur application au domaine de la pêche, voir Chaboud et Fontana (1992)).

Pour aborder la représentation du fonctionnement d'un système halieutique avec efficience, il importe de pouvoir repérer et caractériser chaque type de composant ou de fonction. On peut alors s'interroger sur l'existence et/ou la possibilité de mesure ou de connaissance sur chacun de ces types de composants.

## 2 - VALIDITE DE L'INFORMATION DISPONIBLE SUR LES SYSTEMES

La notion de projet de modélisation évoquée plus haut implique que, pour représenter un système, soient définis une échelle et un objectif (Breton, 1991). Ces contraintes posent a priori un problème et peuvent nuire à la qualité de l'approche: en effet, en fonction du projet (qui définit l'échelle) et de la perception du modélisateur, le repérage des composantes pourra se révéler extrêmement différent. Par exemple, la ressource halieutique peut être considérée comme un *réservoir* pour le chercheur qui étudie les moyens de sa conservation, comme un *puits* pour celui qui s'intéresse aux proies des poissons alors qu'elle sera considérée comme une *source* par le pêcheur qui se soucie de faire vivre sa famille. Les conséquences sur le système (perçu ou modélisé) seront alors évidemment très différentes.

### 2.1 - Le problème d'une approche multi-composantes

La (re)connaissance des différentes composantes d'un système d'exploitation halieutique implique une approche multi-sectorielle et pluridisciplinaire. L'information déjà acquise par chacune des disciplines, si on la considère globalement, reste-t-elle équilibrée et permet-elle de bien définir un système ? Le projet de modélisation de la pêche artisanale qui est actuellement développé au Sénégal sur la base d'une problématique systémique peut aider à justifier cette interrogation: initialement conçue sur une base importante d'informations concernant les composantes biologiques et économiques du système (base de données quantitatives), la modélisation de la dynamique du système d'exploitation s'est vue progressivement dériver vers l'étude et la représentation des aspects sociologiques et comportementaux des acteurs du système. En effet, suite à des enquêtes complémentaires (Gaye, 1992), des informations sur le comportement des pêcheurs ont 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 (Le Fur, 1993b). 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, la répartition de l'information disponible dans les bases de données ne s'avérait plus équilibrée vis à vis de la problématique. Selon la terminologie systémique, il est ainsi apparu que les centres de décision majeurs n'établissaient pas forcément d'interaction privilégiée avec les composantes bio-économiques mais que la variété du sous-système social constituait le principal réservoir de comportements d'action (et de régulation) de ces centres de décision.

D'autre part, la multidisciplinarité introduit différents niveaux de quantification selon les domaines considérés par chacune des disciplines (e.g. efforts, tactiques/stratégies). Ceci conduit, selon le principe du facteur limitant, à un niveau de quantification de l'ensemble du système, si ce niveau existe, qui sera celui de la discipline la moins quantifiable. **Cette contrainte conduit le plus souvent les approches systémiques à présenter des résultats qui paraissent peu tangibles selon les critères quantitatifs** (c'est, entre autres, pour cette raison que la systémique parvient difficilement à être reconnue dans le cortège des méthodes scientifiques). Ce phénomène du plus bas niveau de quantification doit cependant être pondéré dans la mesure où l'importance respective de chacun des domaines dans la compréhension globale du système n'est pas forcément équivalente.

### 2.2 - Les centres de décision (is small so beautiful?)

Dans le cadre de la décomposition structurelle d'un système, on note généralement la présence de points sensibles appelés *centres de décision* ou *vannes* qui, en "agissant" provoquent des amplifications ou des inhibitions des flux existant dans le système. Par exemple (voir Figure 4), un exploitant (système pilotant ou centre de décision) reçoit des informations sur *(i)* l'état de la mer, la demande en poisson, les

dettes qu'il a, l'état de la ressource (intrants de l'environnement) , *(ii)* la vétusté, l'efficience, le coût de son matériel (état du système opérant, capteur). En fonction de son bien-être social, l'état de sa santé, celui de ses finances (écart au projet attendu, capteur), il prendra la décision de moduler plus ou moins son effort en changeant d'engin, en se déplaçant, etc. (commande) et commandera ainsi l'action de ses moyens de production (ensemble agissant, système opérant).

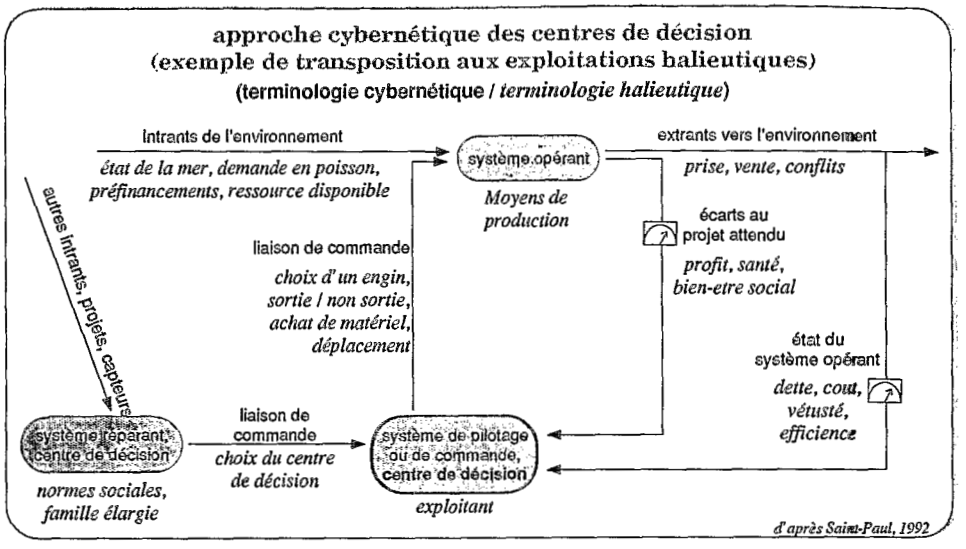


**Figure 4**

Les centres de décision sont ainsi maîtres d'un certain nombre de commandes qui vont agir sur l'état du système dans lequel ils se trouvent. Les centres de décision peuvent être amenés à prendre des décisions en commun (par échange d'informations, par alliance) et agir ainsi à deux échelles dans le système: l'une où leur action individuelle est efficiente, l'autre dans laquelle leur action conjointe impose les conditions environnementales et les commandes de l'échelle inférieure dans laquelle ils jouent leur rôle individuellement.

Par exemple:

• A un niveau supérieur les pêcheurs (centres de décision), par la mise en commun de leur commande (leur pratique de la pêche selon différentes modalités), vont influer sur la disponibilité à terme de la ressource (en l'augmentant ou la diminuant selon l'effort total). Ils imposent ainsi les conditions futures de leur environnement. Au niveau inférieur par contre, les pêcheurs subissent les fluctuations de la ressource qu'ils

exploitent et modifient en conséquence leur tactique. Ils deviennent alors décideurs à un autre niveau et en fonction d'informations dont l'échelle caractéristique est de ce niveau (informations à court terme sur les fluctuations du marché, de la ressource...).

• Les pêcheurs, par leur pratique, instituent des interdits. Par exemple, sur la côte du Sénégal dans le port de Kayar, les pêcheurs à la ligne ont interdit la pratique des filets dormants sur le site car cela nuisait à leur activité. Ces mêmes pêcheurs, au niveau individuel, se sont trouvés confrontés à l'existence de ces interdits: quand la pratique du filet dormant s'est avérée intéressante (augmentation du prix et des rendements des espèces pêchées par cette technique), les pêcheurs de cette même communauté se sont trouvés confrontés individuellement à une contrainte édifiée par eux-mêmes et qu'il leur a fallu résoudre. Au niveau inférieur alors, ils ont changé de tactique compte tenu de cette perturbation (cela a ainsi conduit certains pêcheurs de la communauté de ligneurs à Kayar à quitter leur site pour aller pratiquer le filet dormant dans une autre région).

Les décideurs agissent ainsi, au niveau des tactiques à l'intérieur de "règles du jeu", mais ces règles du jeu sont elles-mêmes évolutives en fonction des stratégies de ces mêmes décideurs.

Les centres de décision apparaissent donc extrêmement importants dans la modélisation des systèmes. Walliser (1977) propose ainsi une classification de tous les modèles possibles (cognitif, prévisionnel, décisionnel, normatif, pédagogique, de recherche, de concertation, idéologique) uniquement à partir de la représentation des centres de décision et du type de commande qu'ils peuvent exercer sur le système.

Le problème pratique que pose la reconnaissance de ces "centres de décision" est le caractère très limité de leur expression dans le système observé (l'effort sur une pédale d'accélérateur est négligeable comparé à l'effet observable sur la voiture). En d'autres termes, les mesures de fluctuation réalisées généralement dans les protocoles d'enquêtes ou d'expérimentation portent le plus souvent sur les systèmes opérant, ceux qui produisent l'effet le plus direct et le plus visible sur l'environnement et, généralement, ceux qui sont les plus "intéressants" vis à vis des objectifs de gestion (stocks monétaires, biologiques, etc.). Les fluctuations des centres de décision sont plus rarement étudiées, car souvent difficiles à cerner.

**C'est ainsi en partie à cause de l'expression limitée des centres de décision qu'il apparaît difficile d'appréhender la dynamique globale dont la systémique fait son but, dynamique issue de leur effet amplificateur et/ou de leur éventuel fonctionnement en coopération.**

Mais la difficulté vient aussi de leur fonctionnement particulier qui est fondé sur l'utilisation de boucles de rétroaction.

### 2.3 - La rétroaction, L'information, les temps de réponse[7]

Avec la variété et l'homéostasie, les boucles de rétroaction constituent le pivot autour duquel peuvent être traités les problèmes liés à la téléonomie du système étudié. La rétroaction négative est une caractéristique normative de la dynamique des systèmes. Elle permet l'homéostasie et provoque des trajectoires dynamiques qui peuvent être assimilées à la poursuite d'un but. Les rétroactions positives par contre, en accentuant les différences, procurent à un système les moyens de changer d'état et, à terme, lui permettent d'évoluer vers une "destination".

Un des grands intérêts de l'approche systémique pour la compréhension des systèmes réside dans le fait qu'elle prenne en compte, après la définition structurelle du système, les interactions qui peuvent exister entre les différents composants. Ces liaisons peuvent être de différentes natures; parmi elles, les boucles de rétroaction posent le plus de problèmes car elles impliquent, pour être appréhendées, de faire intervenir les notions d'information et de temps de réponse. Elles constituent pourtant une composante essentielle du fonctionnement de certains centres de décision et leur représentation correcte est donc primordiale dans le cadre de la modélisation fonctionnelle des systèmes.

Dans une boucle de rétroaction, comme on l'a vu dans le paragraphe précédent (Figure 4), des informations parviennent à un centre de décision. Ce peuvent être des connaissances sur l'état d'autres composantes du système mais aussi, les résultats d'une action engendrée par le centre de décision lui-même. En fonction de cette information, le centre de décision pourra éventuellement engager une nouvelle commande qui amplifiera l'effet (rétroaction positive) ou au contraire tendra à rétablir une situation antérieure (rétroaction négative). L'efficacité du "contrôle" dépendra bien sûr de la pertinence de la décision prise par le centre de décision, mais elle sera aussi fortement dépendante *(i)* de la **qualité de l'information** reçue, *(ii)* du **délai** entre la naissance de l'information et sa réception par le centre de décision, et *(iii)* du **temps de réaction** du centre de décision.

L'expérimentation ou l'observation sur les temps de réponse et les flux d'information apparaissent assez difficiles à réaliser car ils correspondent à des variables "immatérielles" (durée, connaissance). Ils apparaissent cependant essentiels au bon fonctionnement d'un système (par exemple (Saint Paul, 1992), des déphasages dans un système peuvent introduire des difficultés de gestion).

Le rôle important des rétroactions, de l'information et des temps de réponse dans le fonctionnement des systèmes est de plus en plus reconnu. On constate en effet dans la littérature sur la modélisation des systèmes d'exploitation une augmentation des études

---

[7] *Les notions de rétroaction, d'information, de délais, bien que fondamentales dans l'approche systémique, sont issues de la théorie cybernétique (Wiener, 1948) et peuvent être rassemblées dans le concept de système commandé.*

sur la représentation des schémas d'information et, conséquemment, des processus de décision que développent les exploitants pour gérer l'incertitude liée aux fluctuations de leur environnement. Ceci peut être constaté tant dans le domaine des pêches artisanales, où le problème principal semble être plutôt lié aux modalités mêmes du processus de décision (e.g., Bousquet *et al.*, 1992, Ferraris et Samba, 1992, Le Fur, 1993a), que dans celui des pêches industrielles où c'est l'information sur les localisations des stocks de poisson et les temps de réponse nécessaires pour obtenir cette information qui prennent une importance particulière (e.g., Mangel and Clark, 1983, Allen and Mc Glade, 1986, Hilborn and Walters, 1987).

### 2.4 - Comportement des agents

Parmi les préoccupations actuelles des scientifiques halieutes vis à vis de leur objet d'étude, apparaît ainsi le besoin d'une meilleure connaissance des exploitants. Ce besoin relève d'un souci de compréhension de la structure du système pêche et de la perception qu'en ont les pêcheurs (Quensière *et al.*, 1991).

La prise en compte de la dynamique sociale constitue en effet un volet capital de la modélisation d'un système d'exploitation, qu'il soit halieutique ou non: d'une part les agents, considérés individuellement, se constituent en centres de décision; d'autre part, considérés dans leur ensemble, ils constituent un composant social déterminant pour la dynamique globale du système, qu'elle soit synchronique ou diachronique. L'étude du comportement des agents ne constitue pas à proprement parler une problématique spécifique de la systémique. Cependant, dans le cadre de la modélisation systémique d'un système d'exploitation halieutique, cette composante du système mérite d'être évoquée (on ne pourra que signaler le problème de la représentation du comportement des agents, ce point introduisant un volet théorique trop conséquent pour être extensivement abordé ici (voir à ce sujet Crozier et Friedberg, 1977, Lesourne, 1990, Moles, 1990)).

Le caractère imparfait des acteurs constitue une des grandes prises de conscience des sciences sociales 'dures' telles que l'économie (Lesourne, 1990): La notion de complexité, implicite dans le cadre de la modélisation des systèmes d'exploitation halieutique, met en avant le rôle de l'information et intervient ainsi directement sur les modalités du comportement des acteurs. La complexité du système est en effet telle que chaque agent ne peut en avoir qu'une connaissance imparfaite et partielle. L'information étant toujours incomplète pour un agent du système, l'acteur parfait de la théorie (économique) néo-classique ne peut plus alors correspondre à une description valide. L'imperfection des acteurs joue un rôle déterminant dans la dynamique des

systèmes. Sa prise en compte implique tout un cortège de notions nouvelles[8] qui complexifient encore la modélisation des systèmes.

Les notions qui ont été abordées (centre de décision et rétroactions, comportement des agents) conduisent à des modèles extrêmement complexes et difficiles à gérer. Ainsi, dans le cadre du projet de modélisation de la pêche artisanale au Sénégal qui a déjà été évoqué, une problématique globale et systémique avait présidé à la définition du projet de modélisation et à la conceptualisation du modèle terminal. Suite à une dérive progressive dont il a déjà été question (voir paragraphe 1 de ce chapitre), la quasi-exclusivité de l'effort porté à développer le modèle de l'exploitation s'est concentrée sur la représentation du comportement des pêcheurs, leur comportement en tant que centres de décision et les interactions construites entre ces différents centres de décision. Une récente étude, toujours intégrée dans ce projet mais portant sur les acteurs du mareyage dans ce système (Sarr *et al.*, 1993) a conduit naturellement à la même démarche, c'est à dire à la focalisation sur le comportement des acteurs. Ces exemples et d'autres (e.g., Bousquet *et al.* 1992), semblent bien montrer toute l'importance de ces notions lorsque l'on aborde la représentation d'un système d'exploitation halieutique, et toute la difficulté qu'elles induisent vis à vis de cette problématique de représentation.

Supposant chaque type de composant repéré dans le système à modéliser, il est ensuite nécessaire de pouvoir les représenter. Intervient alors la notion d'outil de représentation.

## 3 - OUTILS DE MODELISATION SYSTEMIQUE

La notion de système, parce qu'elle est nécessairement conditionnée par la représentation que s'en fait l'observateur, est intimement liée à la notion de modèle. Le choix d'un outil adapté à la représentation d'un système d'exploitation doit répondre à un grand nombre de contraintes réparties en deux grands groupes: le premier rassemble les contraintes liées à la représentation structurelle du système à modéliser (i.e. l'outil doit pouvoir représenter aussi bien un centre de décision qu'un réservoir et, plus généralement, une structure organisée); l'autre, définissant le cadre dans lequel pourront être représentés les processus dynamiques fondamentaux du fonctionnement du système, fondamentaux au sens de l'approche systémique (synchronie, diachronie, émergence, multi-variabilité, rétroaction...).

### 3.1 - Mathématique

Les mathématiques n'apparaissent pas être les outils idéaux pour représenter certains des processus caractéristiques de la dynamique des systèmes. C'est

---

[8] *e.g., rationalité limitée, astuce, activité, jeu, seuils de satisfaction, opportunisme des agents, maximisation de l'utilité, coopération, accords, conflits, intérêts.*

particulièrement le cas des phénomènes d'émergence où les dynamiques locales d'un ensemble d'agents en interaction produisent, par leur somme, de nouveaux mécanismes dynamiques observables, ceux là, à un niveau plus global du système. Des outils tels que les systèmes d'équations différentielles qui peuvent être soumis à intégration peuvent apporter des solutions, mais Destouches (1977) constate que, en mathématiques, à part quelques résultats qui se sont révélés probants (e.g. Prigogine, 1947, Allen and Mc Glade, 1989), il y a des problèmes de conciliation et d'arbitrage lorsque les systèmes sont à plusieurs niveaux (ce qui est généralement le cas dans les systèmes tels que ceux que nous étudions) et qu'**il n'existe pas de méthode générale pour les résoudre.**

L. von Bertallanfy, dans sa 'théorie générale des systèmes' aborde bien le problème que pose le choix d'outils pour la représentation des systèmes. Concernant l'outil mathématique, les systèmes caractérisés par de nombreuses interactions et des relations non linéaires ne peuvent être abordés, selon Bertallanfy, qu'au moyen d'un ensemble d'équations différentielles simultanées, non linéaires dans le cas général. La classification des problèmes mathématiques qu'il présente situe la modélisation mathématique des systèmes complexes dans la classe des problèmes essentiellement impossibles à résoudre. Présentant ensuite, (en 1968) 13 approches possibles pour la modélisation des systèmes, il termine sur l'utilisation du modèle verbal dont il conclue qu'"il est meilleur que pas de modèle du tout". Parmi les approches qu'il expose, l'informatique et la simulation lui apparaissent relativement bien indiquées.

### 3.2 - Simulation et intelligence artificielle

L'intérêt de la simulation dans l'approche systémique est généralement largement souligné. Parmi ses avantages, elle permet l'étude du **comportement** dans le temps d'un système complexe. D'autre part, au lieu de modifier "une variable à la fois", elle permet de faire varier **simultanément** des **groupes** de variables, comme cela se produit dans la réalité (De Rosnay, 1975) et fournit en cela une réponse (partielle) au problème déjà évoqué de la variété. Dans le domaine des sciences halieutiques particulièrement, l'utilisation de la simulation a déjà été soulignée comme une approche pertinente pour la modélisation (Hilborn and Walters, 1987). On peut distinguer là encore de nombreux types de simulation.

La simulation présente cependant les inconvénients de ses avantages. Du fait qu'ils combinent simultanément les fluctuations de plusieurs variables, **les modèles de simulation sont extrêmement difficiles à valider et à calibrer**. 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 (validation). La sur-paramétrisation constitue ainsi souvent un reproche adressé aux modèles de simulation de systèmes complexes. De même, pour une situation simulée donnée, il n'est pas aisé de déterminer quelle est la valeur explicative relative de chacune des

variables prises en compte vis à vis de la variabilité totale à expliquer (calibration). On notera ici tout l'intérêt des outils statistiques pour aider à résoudre ces problèmes (e.g., Laloë et Samba, 1990, Ferraris et Samba, 1992).

Enfin, les résultats obtenus à partir de modèles de simulation se présentent le plus souvent sous la forme de scénarios. Cette forme de résultats, parce qu'elle ne dit pas 'ce qui sera' ou 'ce qui sera probablement', mais 'ce qui est possible', est parfois mal considérée. Cependant, cette approche semble actuellement la plus réaliste.

Bien que l'on puisse distinguer de nombreux types de simulations, la modélisation et la simulation sont à l'heure actuelle particulièrement liées à l'informatique. Dans ce domaine, de nouveaux outils ont été récemment développés. Parmi ceux-ci, la représentation objet (Bailly *et al.*, 1987, Massini *et al.*, 1989) et certaines techniques appartenant à l'intelligence artificielle (Farreny et Gallab, 1987) s'avèrent bien adaptées.

La programmation dite "orientée objet" ne résout pas les problèmes déjà évoqués que posent les simulations multi-variables. elle propose cependant des formalismes qui permettent de faciliter la représentation conjointe de structures et de mécanismes essentiels à la modélisation des systèmes. On peut citer par exemple la représentation structurelle et modulaire du système, la formalisation des interactions multiples entre éléments, la prise en compte de la rétroaction, la modification simultanée d'une combinaison de variables.

L'intelligence artificielle présente de nombreuses caractéristiques systémiques en raison de ses relations avec les sciences de l'information et de la cognition (Bouchon-Meunier, 1992). Ces nouveaux outils dont il existe de nombreux types ont déjà été utilisés avec un certain succès pour la représentation de la dynamique de systèmes d'exploitation halieutique (Bousquet et Cambier, 1991, Bousquet *et al.*, 1992, Le Fur, 1993a,b). Vis à vis du problème de la représentation des émergences (bâtir une dynamique macroscopique à partir d'une représentation microscopique), l'intelligence artificielle peut parfois apporter les solutions qui manquent aux modèles mathématiques (Cf. §1). En effet, l'intelligence artificielle a développé des formalismes de représentation dont certains prennent en compte explicitement le problème de l'émergence. On peut par exemple citer le cas des simulations multi-agents (Ferber, 1989) dans lesquels on étudie précisément comment un grand ensemble d'éléments interconnectés peuvent faire apparaître des structurations à un niveau d'observation global. La simulation de dynamiques à plusieurs niveaux reste cependant difficile, même avec ces méthodes pourtant adaptées au problème. Ceci est principalement dû à la complexité des systèmes appréhendés qui rend difficile la distinction des mécanismes (diachroniques) déterminants parmi l'ensemble des processus dynamiques (diachroniques et synchroniques) que comptent ces systèmes. En fait, les recherches qui parviennent avec succès à résoudre le problème par ces méthodes portent en général sur des systèmes dont les composants ont un comportement

extrêmement simple ou simplifié (par exemple des colonies de fourmis (Drogoul et Ferber, 1993)).

### 3.3 - Pragmatique systémique: la décomposition systémique

Compte tenu des interdépendances entre composants d'un système donné, la propriété de globalité implique de prendre en considération tous les flux ayant une influence sensible sur les fonctionnements et objectifs du système à modéliser. La modélisation systémique d'organisations 'simples', une industrie par exemple, peut parvenir à cette exhaustivité nécessaire du fait de la dimension organisationnelle réduite de ces objets d'étude. (ce sont d'ailleurs souvent ces types de système qui sont présentés comme exemples d'application pratique de la systémique). Lorsqu'il s'agit de systèmes aussi complexes qu'un système d'exploitation halieutique, le problème prend une autre dimension et ne semble plus à la portée de nos moyens d'investigation. La systémique apporte certaines règles qualitatives et quantitatives permettant d'envisager une solution à ce problème sous la forme d'une méthodologie, relativement délicate à mettre en oeuvre, appelée "*décomposition systémique*".

La décomposition systémique consiste, en fonction des objectifs, à obtenir des sous-systèmes appréhendables, ayant une certaine autonomie et déterminés en choisissant les frontières de séparation les moins défavorables pour permettre une future **recomposition** avec le moins de possible de pertes de la "réalité" (Le Gallou, 1992c). De nombreuses contraintes sont liées à la conduite de cette décomposition (interface minimale, recherche des discontinuités, liaisons optimales de substitution, nature des axes de décomposition, etc.) et rendent difficile sa mise en oeuvre.

Sous la contrainte d'une décomposition la modélisation d'un système complexe doit alors se scinder en quatre parties **d'égale importance**:

- une phase de conceptualisation dans laquelle est définie la perception que l'on a du domaine d'étude et dans laquelle est défini le projet de modélisation,
- une phase de décomposition dans laquelle l'effort doit être porté sur le maintien de la cohérence de l'interaction et des interfaces entre sous-systèmes afin de permettre la recomposition finale,
- une phase d'analyse de ces sous composants et
- une phase finale de recomposition du système à partir des sous-systèmes.

Pour conserver la pertinence du modèle aucune de ces quatre phases ne doit être négligée:

#### *3.3.1 - Phase projective*

A une question posée, un domaine à appréhender, doit être associé avant toute chose, on l'a vu, un projet de modélisation. C'est lui qui va définir l'angle sous lequel est perçu le système et conditionner toute l'approche subséquente, dont sa

"systémicité". Certaines conséquences de ce projet ont déjà été abordées et ne seront pas reprises ici. Dans la mesure où l'on se trouve confronté à un système complexe, il est ensuite nécessaire d'envisager, en fonction du projet, la phase de décomposition.

### *3.3.2 - Phase de décomposition*

Cette phase de décomposition est extrêmement critique dans la mesure où, si elle n'est pas réalisée correctement elle peut conduire à l'impossibilité *(i)* d'analyser les sous-systèmes s'ils n'ont pas été individualisés avec assez d'autonomie, *(ii)* de recomposer le système en phase finale si les interfaces n'ont pas été assez bien spécifiées, *(iii)* de réaliser l'un et l'autre compte tenu de leur étroite dépendance.

Cette phase peut utiliser avec profit les paradigmes systémiques pour respecter les contraintes liées à une décomposition efficace. Les centres de décision, par exemple, constituent le plus souvent des axes pertinents de décomposition (Walliser, 1977). De même, la sélection d'indicateurs, choisis conjointement pour les différents modules, permet de conserver la cohérence et la cohésion des différents sous-systèmes représentés ce qui facilite ensuite la recomposition

De nombreux autres critères permettent de définir les modalités d'une décomposition optimale. En effet, le choix d'une décomposition n'apparaît pas trivial car il ne dépend pas seulement du projet de modélisation (choix de tel ou tel centre décision par exemple) mais doit aussi prendre en compte les contraintes qui seront levées au cours des phases suivantes. Par exemple, la formalisation d'un système par les flux (concept systémique) semble permettre une décomposition structurée et coordonnée, et non un découpage réductionniste (Le Gallou, 1992c). Dans la mesure où l'analyse de flux paraît donc indiquée pour définir un axe de décomposition, il peut apparaître tentant, pour conserver un acquis par exemple, de procéder à un découpage disciplinaire du domaine d'étude. Il n'est cependant pas certain que ce soit la meilleure solution, le retour à des sous-domaines où domine la méthode analytique pouvant constituer une source de biais, ainsi qu'on le verra dans le paragraphe suivant.

### *3.3.3 - Phase d'analyse (appréhension des sous-systèmes)*

La systémique pragmatique comporte, contrairement à l'opinion communément admise, une phase d'analyse (Destouches, 1977, Quensière, 1991). Mais il ne doit pas, à notre avis, s'agir d'une analyse au sens où on l'entend habituellement. C'est sur ce point que cette phase de la modélisation apparaît dangereuse vis à vis du projet systémique.

Sur la figure 5 sont présentés, d'après Lemoigne (1990), les concepts concurrents des modélisations analytiques et systémiques. Ce tableau constitue un cadre fondamental d'analyse. En effet, selon le registre qui sera utilisé pour décomposer, puis appréhender les sous-systèmes, les modèles qui auront été obtenus pourront se prêter à la recomposition subséquente, ou tomberont définitivement dans une démarche

réductionniste qui ne permettra pas de revenir à la compréhension de la dynamique globale.

Il apparaît nécessaire d'insister sur ce point, car la modélisation analytique est la méthode à laquelle les scientifiques sont le plus habitués, et la tendance est souvent grande d'appréhender les systèmes à travers ces paradigmes pour lesquels, par formation, on dispose de compétences beaucoup plus grandes.

## LES DEUX REGISTRES DE LA MODÉLISATION

| aux concepts familiers de la modélisation ANALYTIQUE... | ... ne peut-on substituer... | ... les concepts adaptés à la modélisation SYSTÉMIQUE |
|---|---|---|
| *Objet* | ..... | *Projet ou Processus* |
| *Elément* | ..... | *Unité active* |
| *Ensemble* | ..... | *Système* |
| *Analyse* | ..... | *Conception* |
| *Disjonction (ou découpe)* | ..... | *Conjonction (ou articulation)* |
| *Structure* | ..... | *Organisation* |
| *Optimisation* | ..... | *Adéquation* |
| *Contrôle* | ..... | *Intelligence* |
| *Efficacité* | ..... | *Effectivité* |
| *Application* | ..... | *Projection* |
| *Evidence* | ..... | *Pertinence* |
| *Explication causale* | ..... | *Compréhension téléologique* |

*En changeant de registre, ou de style, ne crée-t-on pas les conditions d'un changement de méthode ?*

*extrait de Le Moigne, 1990 (p.9)*

**Figure 5**

### *3.3.4 - Phase de recomposition*

Une fois parvenu à déjouer les pièges que posent les deux phases précédentes, peut-être abordée la recomposition des sous-systèmes appréhendés afin de parvenir à la représentation globale qui fait l'objet de la systémique.

En termes d'outil de représentation, il est à noter que l'approche objet, évoquée plus haut, constitue a priori une des méthodes les plus adaptées à ce problème: elle est d'une part fondamentalement modulaire et d'autre part, elle facilite beaucoup la reconnexion, l'interfaçage car elle intègre les procédures au sein même des caractéristiques des objets (Le Fur, 1993b).

Par construction, ce n'est qu'une fois la recomposition réalisée que l'on peut tenter d'aborder la téléonomie du système. Mais comme il a déjà été signalé, il semble exister peu (ou pas) d'exemples de modélisation portant sur des systèmes dont la complexité soit équivalente à celle d'un système d'exploitation halieutique qui aient pu parvenir avec succès jusqu'à ce stade.

Pour terminer cet exposé, il peut être intéressant d'évoquer une critique souvent faite à la systémique; critique dont les systémiciens se défendent actuellement en réfutant l'assimilation courante: "systémique = holisme". Le holisme, notion apparue au début de ce siècle (Lemoigne, 1992), reprend en substance l'aphorisme bien connu "le tout est plus que la somme des parties" (en oubliant souvent son corollaire: "chaque partie est plus qu'une fraction du tout" (Weinberg, 1975)). Si les théoriciens de la systémique se sont vigoureusement élevés contre les paradigmes réductionnistes et analytiques, ils ont semble-t-il été encore moins indulgents vis à vis du paradigme holistique[9].

On a tenté de montrer dans les paragraphes précédents que la démarche systémique (pragmatique) correspondait à une succession de quatre phases (dont une comprenant de l'analyse). Or c'est seulement lors de la première et de la dernière phases que le système est vraiment appréhendé dans sa globalité et que l'approche répond vraiment au paradigme holistique. Il apparaît alors certain qu'avec une approche holistique seule, il devient difficile de concevoir une méthode pragmatique permettant de passer 'scientifiquement' de la conception d'un projet de modélisation (première phase) à la représentation d'une dynamique globale, émergeant de processus locaux qui n'auront pas été appréhendés (dernière phase). C'est de n'avoir considéré, à travers le holisme, que la première et la dernière phase de cette démarche qui a ainsi pu parfois conduire à considérer la systémique comme une 'caricature' de science, incapable de donner naissance à une approche pratique des problèmes posés (dont particulièrement la modélisation de systèmes complexes).

---

[9] *e.g., "le holisme ne constitue pas un adversaire très solide des arguments reductionnistes et analytiques" (Le Moigne, 1992); "à côté d'un réductionnisme de l'analyse, il constitue un réductionnisme de synthèse" (Vallée, 1992); "Sur un plan pratique, retenir une approche holistique, avec son optimisme associé et son cortège de plates généralisations, ne permet pas d'aboutir à la compréhension des propriétés émergentes d'un système complexe..." (Mc Glade et Allen, 1984).*

## CONCLUSION

Pour modéliser les exploitations halieutiques, il est nécessaire de reconnaître et de rendre compte de leurs propriétés systémiques. Mais, en même temps, les nombreux modèles[10], méthodes et concepts (voir Figure 6) proposés pour les aborder sous cet angle rendent difficile le choix de la méthodologie, du formalisme adaptés à un domaine donné.

**QUELQUES MOTS-CLES DE LA SYSTÉMIQUE: UNE APPROCHE SIMPLE DE LA COMPLEXITÉ ?**

action, adéquation, agent, aléatoire, amplification, analogie, apprentissage, approche qualitative, auto-organisation, but, causalité circulaire, centre de décision, chaos, cohérence, commandabilité, commande, communication, complexité, comportement, composant, compréhension téléologique, conceptualiser, connaissance, connexion, construction, contrôle, couplage, créer, cybernétique, décision, décomposition, délai, désordre, diachronie, différenciation, directivité, diversité, durée, dynamique, dynamique catastrophique, échange, effectivité, efficience, élément, émergence, énergie, énergie de commande, ensemble, entropie, environnement, équifinalité, équilibre, état stable, événement, évolution, expérience, finalité, fluctuation, flux, formalisme, frontière, frottement, gestalt, gestion adaptative, globalité, hasard, heuristique, hiérarchie, histoire, homéostasie, hypo-système, incertitude, indécidabilité, indicateur, individu, induction, information, infra-système, innovation, intelligence artificielle, intégration, interaction, interdépendance, intérêt, interface, invention, irréversibilité, isomorphisme, macroscope, mathématique, mécanisation, mémoire, mesure, méthode, modèle, modularité, motivation, multi-composantes, nécessité, néguentropie, niveaux d'organisation, objectif, objet, opportunisme, ordre, ordre hiérarchique, organisation, outil, paradigme, perception, pérennité, pertinence, perturbation, prévision, problématique, processus, projection, projet, projectivité, propriété, puits, quasi-décomposabilité, rationalité limitée, réel, régulation, relation, reproductibilité, réseau, réservoir, résilience, rétroaction, scénario, simulation, simultanéité, société, somme, source, sous-système, stabilité dynamique, stock, structure, synchronie, système, téléonomie, temps de réponse, théorie des contrats, théorie des jeux, théorie générale, totalité, transdisciplinarité, typologie, unité active, univers multi-agents, vanne, variabilité, variété requise, vérité, volonté, etc.

**Figure 6**

[10] *par exemple: théorie des compartiments, des ensembles, des graphes, des réseaux, des automates,de la décision, des files d'attente, des contrats, des jeux, modèle verbal, modèle cybernétique, langage littéraire, langage iconique, représentation graphique, ...*

La mise en avant, dans l'approche système, de la notion de projet ne permet pas d'envisager de schéma type d'étude. Ceux-ci dépendront à la fois *(i)* du type, de la localisation et des particularités du domaine étudié, *(ii)* des questions posées au modélisateur mais aussi *(iii)* de la perception que celui-ci a de son objet d'étude.

Certains arguments plaident en faveur d'une approche systémique pour la représentation des systèmes d'exploitation halieutique. En effet, dans ce domaine, les objectifs de gestion sont en général multi-sectoriels (Lawson, 1984, Mc Glade, 1989): les gestionnaires appréhendent la pêche dans de multiples directions (e.g., bien-être social, efficacité économique, conservation de la ressource, réduction des conflits) ce qui apparaît typiquement systémique. Partant de ce constat, il semble judicieux que la recherche puisse soumettre aux décideurs une argumentation scientifique adaptée à sa demande, c'est-à-dire, de nature essentiellement systémique.

Dans le même ordre d'idée, cette globalité de l'approche permet de déceler les contradictions irréductibles que l'on rencontre dans les objectifs affichés de la gestion des pêches. Par exemple, comment considérer simultanément la satisfaction du marché local et la promotion des exportations ou encore la gestion de la ressource en même temps que l'investissement dans la pêche, indépendamment du taux d'exploitation de la ressource (Chaboud et Fontana, 1992). Si l'utilisation de l'approche système permet de détecter ce genre de contradiction, une approche sectorielle (disciplinaire) ne peut, par nature, être apte à le faire.

Cependant, l'approche système, beaucoup plus que les approches analytiques classiques, donne une place importante à la subjectivité du chercheur qui l'emploie. Elle peut ainsi parfois apparaître caractérisée par un manque de rigueur. Dans le cadre de l'étude des systèmes d'exploitation halieutique, cela peut éventuellement constituer un inconvénient dans la mesure où un gestionnaire ou un décideur, intéressé par le travail du modélisateur, pourrait éventuellement se révéler incapable de transcrire les résultats obtenus (scénarios, tendances floues, chaos constatés) en décisions , puis en action. Si cela est, il est probable que ce ne soit pas définitif, les politiques étant, on l'a déjà dit, de fervents pratiquants de l'approche système et capables, de par leur fonction, de faire des choix.

En 1989, au terme du symposium international de Montpellier sur la pêche artisanale, le chapitre de la conclusion portant sur les perspectives de la recherche dans ce domaine identifiait trois points essentiels à prendre en compte dans les recherches futures: *(i)* la clarification des relations entre recherche et intervention, *(ii)* une meilleure prise en compte des composantes humaines de la pêche et *(iii)* la nature pluridisciplinaire de l'objet d'étude pêche artisanale (Quensière *et al.* 1991)[11]. A la lumière de ce que l'on a tenté d'exposer, il nous apparaît que l'approche systémique,

[11] *Cette conclusion pourra sans grande distorsion s'appliquer à l'exploitation industrielle des ressources halieutique.*

malgré la difficulté de sa mise en oeuvre, est une des rares approches qui puisse être à même de répondre à ces contraintes.

La systémique ne va certainement pas dans le sens d'une simplification des problématiques (voir Figure 6); d'autre part, l'absence (ou le trop grand nombre) d'heuristique réellement définie peut sans doute la faire apparaître dans un premier temps comme rébarbative et impropre à fournir des résultats probants.

Mais, si la perception d'un système d'exploitation halieutique doit vraiment se référer à la complexité, il semble que la compréhension du fonctionnement des systèmes d'exploitation halieutique ne peut plus uniquement se satisfaire des approches classiques. L'approche système devient alors difficilement contournable.

## REFERENCES

Allen, P.M., and J.M. McGlade (1986). Dynamics of discovery and exploitation: the case of the scotian shelf groundfish fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* vol.43:1187-1200.

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.

Allen, P.M., and J.M. McGlade (1989) Optimality, adequacy and the evolution of complexity.In: Stucture, cohérence and chaos in dynamical systems. In:proceedings in non linear science, edited by P.L.Christiansen and R.D.Parmentier; *Manchester university press*:3-22.

Ashby, W.R. (1958). Requisite variety and its implications for the control of complex systems. *Cybernetica,* 1, N°2, 83, Namur, 1958.

Bailly, C., Challine, J.F., Ferri, H.C., Gloess, P.Y., et Marchesin, B. (1987) Les langages orientés objet. *Cepadues Ed.*, 223p.

Bertallanfy, L. von. (1951) La théorie générale des systèmes: nouvelle approche de l'unité de la science. *Human Biology*, Déc. 1951:303-361

Bertallanfy, L. von. (1968) General System theory. *Braziller*, New York.

Bouchon-Meunier, B. (1992) Systèmes, Informatique et Intelligence Artificielle. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordonnateurs), *Lavoisier TecDoc* (Ed.), Paris, 1992:178-186.

Breton, Y. (1991) Comment aborder la systémique ? Communication présentée au séminaire international "Recherches interdisciplinaires et gestion des pêcheries"Recherche interdisciplinaires et gestion des pêcheries", Casablanca, Maroc, 27 mai - 14 juin 1991.

*Premier Forum Halieumétrique, Rennes.*

Bousquet, F., and C. Cambier (1991). Transfert d'échelle et univers multi-agents: le cas de la pêche dans le Delta Central du Niger. Pages 405-423 in: Proceedings, Seminfor 4: le transfert d'échelle, Mullon, C., scientific editor. *Collection colloques et séminaires, ORSTOM publications,* Paris.

Bousquet, F., C. Cambier, C. Mullon, and J. Quensière (1992). Simulating fishermen society. In: *Proceedings, Simulating Societies Symposium*, University of Surrey, April 1992.

Bunge, M. (1983) Epistémologie. Maloine, Paris, 285p.

Chauveau, J.P. (1984) Histoire de la pêche maritime et politiques de développement de la pêche au Sénégal. In: *Colloque littoral, milieux et sociétés*; Boulogne sur mer, nov. 1984, 37p.

Boulding, K. (1981) Evolutionnary Economics. Sage, Londres, 1981 (*cité dans Lesourne, 1990).*

Chaboud, C., et A. Fontana (1992). L'approche système dans les pêches. In: Brethes, J.C. and A. Fontana (Éds) Recherches interdisciplinaires et gestion des pêcheries. projet CIEO-890276, Centre International d'Exploitation des Océans, Halifax (Nouvelle-Ecosse, Canada), 228p., Chap. 5:111-151

Charles, A.T. (1991) Bio-socio-economic dynamics and multi-disciplinary models in small-scale fisheries research. 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:603-608

Chauveau, J.P. et J. Weber (1991) L'apport des sysnthèses régionales. Perspectives historiques et institutionnelles sur la recherche interdisciplinaire dans le domaine des pêches artisanales. 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.I:51-62.

Crozier, M., et M. Friedberg (1977) L'acteur et le système. Seuil (Ed.), *coll. points*, Paris 498p.

Cury, P. (1988) Pressions sélectives et nouveautés évolutives: une hypothèse pour comprendre certains aspects des fluctuations à long terme des poissons pélagiques côtiers. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol.45, no 6, 1988, pp.1099-1108

De Rosnay, J. (1975) Le macroscope: vers une vision globale. *Seuil, coll. points*, 1975,, 346p.

Destouches, J.L. (1977) Systèmes, modèles, prévisions. *Rev. intern. systémique*, vol.4, n°4, 1990, pp.471-488.

Drogoul, A., and J. Ferber (1993) Multi-agent simulation as a tool for modeling societies: application to social differentiation in ant colonies. Decentralized AI, 3. Castelfranchi, C., and E. Wesner, editors, *North Holland Pusblishing.*

Durand, D. (1990) La systémique. Presses Universitaires de France, *coll. Que sais-je?, Vendomme*, France, 1990, 127p.

Farreny, H. et B. Gallab (1987) Eléments d'intelligence artificielle. Hermes (Ed.), *coll. Traité des nouvelles technologies, série Intelligene Artificielle*, 367p.

Ferber, J. (1989) Objets et agents: une étude des structures de représentation et de communications en Intelligence Artificielle. *Thèse doctorat,* Univ. Paris VI.

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:169-190.

Fontana, A., C. Chaboud, J. Quensière, P. Cury, C. Roy, B. Millet, A. Fonteneau, et P. Cayré (1989) Quelle halieutique pour l'ORSTOM ? Etude réalisée à partir des réponses du "dossier noir". *rapport informel ORSTOM*, juin 1989, 52p.

Fonteneau, A., et C. Champagnat (1977) Vers une politique des pêches: éléments pour un aménagement rationnel des ressources marines vivantes. *La Pêche Maritime, mars* 1977:3-7

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*, 20p.+37p..

Hilborn, R., and C.J. Walters (1987). A general model for simulation of stock and fleet dynamics in spatially heterogeneous fisheries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol.44, 1987:1366-1369.

Hofstadter, D. (1985) Gödel, Esher, Bach: les Brins d'une Guirlande Eternelle (an Eternal Golden Brain). *Interéditions*, 1985, 883p.

Kebe, 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., et A. Samba (1990) La pêche artisanale au Sénégal: ressource et stratégies de pêche.. *Thèse Univ. Paris Sud* (Orsay), 19 juin 1989, 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.

Lawson, R.M. (1984). Economics of fisheries development. Frances Pinter, London, 283p.

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, 7p.

Le Fur, J. (1993b) Modelling 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, *accepted in: AI Applications, Natural resources, Agriculture, and Environmental Sciences.*

Le Fur, J. (1993c) Conséquences de la complexité d'un système d'exploitation halieutique sur la problématique de sa représentation. in: table ronde: "Questions sur la dynamique de l'exploitation halieutique", Laloë, F., J.M. Ecoutin, J.L. Durand et H. Rey (coordon.), Montpellier, sept.93 *(accepté).*

Le Gallou, F. (1992a) Nature et Objectifs de la systémique. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordonnateurs), *Lavoisier TecDoc (Ed.)*, Paris, 1992:3-13.

Le Gallou, F. (1992b) Activité des systèmes. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordonnateurs), *Lavoisier TecDoc (Ed.)*, Paris, 1992:71-90.

Le Gallou, F. (1992c) Décomposition des systèmes. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordonnateurs), *Lavoisier TecDoc (Ed.)*, Paris, 1992:91-100.

Legay, J.M. (1986a) Contribution à l'étude de la complexité dans les systèmes biologiques. *XII° colloque international d'économétrie appliquée,* Sophia Antipolis, France, 13-14 mars 1986, 19p.

Legay, J.M. (1986b) Méthodes et modèles dans l'étude des systèmes complexes. *Les cahiers de la recherche, développement,* n°11, aout 1986, 6p. (introduction présentée au colloque national du ministère de la recherche et de la technologie: "diversification des modèles de développement rural: questions et méthodes".

Le Moigne, J.L. (1990) La modélisation des systèmes complexes. *Dunod (Ed.)*, Paris.

Le Moigne, J.L. (1992) Epistémologie de la science des systèmes. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordonnateurs), *Lavoisier TecDoc (Ed.)*, Paris, 1992:323-341.

Lesourne, J. (1976) Les systèmes du destin. *Dalloz*, 1976

Lesourne, J. (1990) Economie de l'ordre et du désordre. Economica, *coll. "Economie et statistiques avancées"*, 1990 , introduction:7-25.

Mangel, M., and C.W. Clark (1983). Uncertainty, search, and information in fisheries. *J. Cons. int. Explor. Mer.* 41: 93-103, 1983.

Mc Glade, J.M. (1989). Integrated fisheries management models: understanding the limits to marine resource exploitation. *American Fisheries Society Symposium*, 6:139-165.

Mc Glade, J.M., and P.M. Allen (1984). The fishing industry as a complex system. In: Mahon, R. (Ed.) Towards the inclusion of fishery interactions in management advice. *Can Tech. Fish. Aquat. Sci.*, N°1347:209-216.

Masini, G., Napoli, A., Colnet, D., Léonard, D., Tombre, K. (1989) Les langages à objets (langages de classes, langages de frames, langages d'acteurs). Interéditions, 584p.

Moles, A.A. (1990) Les sciences de l'imprécis. *Seuil (Ed.)*, Paris.

Morin, E. (1977) La méthode, I. La Nature de la Nature. *Seuil (Ed.)*, Paris.

Monod, J. (1970) Le hasard et la Nécessité. *Seuil (Ed.)*, Paris.

Nicolis, G., et Prigogine, I. (1989) Exploring complexity. W.H. *Freeman and Company, New York*, 1989, 314p.

Prigogine, I. (1947). Etude thermodynamique des phénomènes irréversibles, Paris, *Dunod (Ed.) (cité dans Destouches, 1977).*

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.

Quensière, J., J.P. Platteau et F. Berkes (1991). Perspectives de la recherche sur les pêches artisanales. 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:1052-1053.

Rey, H. (1992) Systèmes de gestion. In: Séminaire International ressources et pêche côtière en Méditerranée septentrionale, Ancone, 16-20 décembre 1992.

Saint Paul, L. (1992) Eléments de cybernétique. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordonnateurs), *Lavoisier TecDoc (Ed.)*, Paris, 1992:25-45.

Sarr, M.R., J. Le Fur, et Faye, M. (1993) Modélisation de la dynamique du système de mareyage à l'exportation de la pêche artisanale au Sénégal. Utilisation des techniques de l'intelligence artificielle. *Doc. Sci CRODT. in prep.*

Stevenson, D., R. Pollnac , and P. Logan. (1982) A guide for the small-scale fishery administrator: information from the harvest sector. *Rapp. ICMRD* (International Center for Marine Ressource Development), 1982, 124p.

Teilhard de Chardin, P. (1955) Le phénomène humain. Seuil (Ed.), Paris.

Vallée, R. (1992) Origine et évolution de la systémique. In: Systémique: théorie et applications. Le Gallou, F., et B. Bouchon-Meunier (coordonnateurs), *Lavoisier TecDoc (Ed.)*, Paris, 1992:14-22.

Walliser, B. (1977) Systèmes et modèles (introduction critique à l'analyse des systèmes). *Seuil (Ed.),* Paris, 245p.

Weber, J. (1982) Pour une approche globale des problèmes de pêche, l'exemple de la filière du poisson au Sénégal. In: consultation des experts FAO sur la technologie du poisson en Afrique. Casablanca, Maroc, 7-11 juin 1982, 37p.

Weinberg, G.M. (1975) An introduction to General Systems Thinking. *J.Wiley and sons, N.Y.*, 1975, 279p. (*cité dans Lemoigne, 1992*).