# Dynamiques complexes et relations simples : limites et pertinence des modèles de dynamique des populations, pour la gestion des systèmes halieutiques

**D. Gascuel***

Unité Halieutique,
D.E.E.R.N., ENSAR
65 Rte de St Brieuc
35042 Rennes cedex

* Dynamicien des populations halieutiques

## Résumé

Les recherches halieutiques ont longtemps été conduites selon un schéma conceptuel simple, au sein duquel la Dynamique des Populations occupait la place centrale ; c'était, par excellence, la Science qui devait conduire à une "gestion rationnelle des pêches". A contrario, on tend aujourd'hui à reconnaître de plus en plus largement le caractère intrinsèquement complexe de la dynamique des systèmes halieutiques. Ces dynamiques complexes doivent ainsi être l'objet de recherches pluridisciplinaires, ce qui conduit à remettre en cause la manière d'aborder la gestion des stocks et la gestion des pêcheries.

Dans le même temps, il existe au sein de la complexité quelques relations simples et robustes, dont la connaissance et la modélisation présente un double intérêt. D'une part, elles s'avèrent pertinentes pour formuler des avis de gestion. D'autre part, elles peuvent constituer des éléments de compréhension d'une partie des dynamiques complexes qui sont en jeu. On montre notamment comment la quantification des rendements par recrue, à partir de quelques relations triviales, conduit à des diagnostics pertinents sur la situation présente du stock étudié, en l'absence de toute hypothèse contraignante. Donner à ce diagnostic une valeur prévisionnelle suppose en revanche un certain nombre d'hypothèses qui sont ici analysées.

Cette analyse permet de mieux comprendre en quoi un tel diagnostic peut être insuffisant en tant qu'outil de gestion des stocks, et plus encore en tant qu'outil de gestion des pêcheries. La complémentarité d'autres approches disciplinaires est ainsi

L'objet même des méthodes usuelles de dynamique des populations halieutiques est, quant à lui, circonscrit à un champ d'analyse plus clairement défini (i.e. l'étude des relations entre régime d'exploitation et captures absolues ou relatives). Paradoxalement, ces méthodes retrouvent ainsi un intérêt scientifique qui tendait à leur être contesté. Cet intérêt est discuté, tant dans une optique appliquée que dans une optique plus fondamentale.

## Abstract

For a long time, fisheries research have been driven according to a simple conceptual diagram, in which 'Populations Dynamics' was the core. More than others, it was the Science that had to lead to a 'rational fisheries management'. Conversely, the intrinsic complexity of the fisheries system dynamics tends today to be more and more acknowledged. These complex dynamics have to be the subject of interdiciplinary research. This leads to the question of how to address stock management and fisheries management issues.

At the same time, some simple and sound relationships exist within the complexity. Their knowledge and their modelling present a double interest. On the one hand, these relationships have turned out to be relevant to formulate management advice. On the other hand they may be considered as useful tools to understand a part of the complex dynamics that are involved. In particular, in this paper, we show how modelling of yield per recruits, from some obvious relationships, leads to relevant diagnoses of the current status of the examined stock, without any restricting hypothesis. Conversely, conferring a forecasting utility on the diagnosis implies some assumptions that are analysed.

This analysis allows us to better understand how such a diagnosis may be insufficient as a stock management tool, and moreover as a fisheries management tool. Hence, the usefulness of tools from other disciplines is emphasized. For its part, the purpose of usual fisheries population dynamics methods is embedded within a more clearly defined research scope (i.e. study of the relationships between fisheries pattern and catches or yields). Thus, paradoxically, these methods reseal again a higher scientific interest than was being contested earlier. This interest is discussed in the context of an applied objective as well as to a more fundamental one.

# INTRODUCTION

Au sein des recherches halieutiques, la dynamique de populations a longtemps eu un statut de "Science magique". Peu ou prou, la modélisation des caractéristiques d'un stock (abondance, structure démographique...), conditionnellement aux caractéristiques de son exploitation (effort de pêche, diagramme d'exploitation...), était le but final du chercheur halieute ; c'était la condition nécessaire et suffisante pour que puisse être définie la très fameuse "gestion rationnelle des pêches", objectif déclaré de tant de programmes de recherches.

Aujourd'hui, on considère souvent que les travaux menés en dynamique des populations relèvent de la fonction d'expertise ; ils s'apparentent alors à la mise en oeuvre d'un ensemble de techniques et ne constituent pas, à proprement parler, une activité de recherche scientifique.

Dans certains cas, on tend même à penser que la dynamique des populations halieutiques est globalement une science en échec : la situation actuelle de nombreuses pêcheries démontrerait l'incapacité des méthodes et modèles usuels à rendre compte et surtout à influer sur une réalité reconnue par ailleurs comme étant de nature complexe.

En poursuivant le raisonnement, la critique peut se faire accusation : c'est alors la place hégémonique occupée par la dynamique des populations qui masquerait les vrais problèmes et serait in fine responsable de notre incapacité à trouver des moyens efficaces pour comprendre et réguler le système pêche.

La distinction entre une vision passée (la dynamique des populations : science magique) et une tendance présente (la dynamique des populations : expertise ou science en échec) est pédagogiquement commode. Pour une part, elle est cependant inexacte. On rencontre, en effet, nombre de documents scientifiques, y compris récents, dans lesquels les deux visions coexistent de manière plus ou moins nette.

Un effort de clarification conceptuelle paraît ainsi souhaitable. On cherchera ici à y contribuer, en définissant à la fois l'intérêt et les limites que peuvent présenter les modèles de dynamiques des populations halieutiques. On essaiera en particulier de montrer comment s'articulent reconnaissance de la

complexité et modélisation de quelques relations simples. Les principales références bibliographiques sur lesquelles s'appuie cette analyse sont renvoyées en fin de document.

# 1. LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS, SCIENCE MAGIQUE : LE SCHÉMA SIMPLE

De manière plus inconsciente qu'explicite, la communauté scientifique et les administrations chargées des pêches ont longtemps adopté un schéma de pensée commun, dont l'apparente et incontestable logique a fortement imprégné et imprègne encore la recherche halieutique. Ce schéma s'articule autours de quelques idées simples ; il peut être présenté en distinguant plusieurs étapes successives.

## 1.1- La protection de la ressource, ...

Les deux premières idées sont le plus souvent considérées comme évidentes par le bon sens commun. On peut les exprimer ainsi :

1. La dynamique de développement d'une pêcherie dépend de l'abondance des ressources qu'elle exploite. En d'autres termes, c'est le poisson qui est le facteur limitant de la pêche et la question essentielle est de savoir quel est le "potentiel biologique exploitable". Cette question justifie à elle seule la priorité accordée à l'évaluation des stocks, et plus généralement aux méthodes de modélisation de la dynamique des populations exploitées.

2. Réciproquement, l'abondance (et la structure démographique) d'un stock dépend de l'intensité de son exploitation. Autrement dit, le pêcheur est un facteur déterminant de la dynamique du stock. Ceci justifie que cette dynamique soit étudiée conditionnellement à la seule exploitation.

En tenant compte de ces deux idées, le système pêche apparaît comme un système à deux compartiments : le pêcheur d'une part, le poisson de l'autre. Lorsqu'on s'intéresse à la dynamique de ce système, une des approches empiriques couram-

ment rencontrée est de considérer que toute exploitation un tant soit peu importante conduit nécessairement à la disparition du stock, à terme plus ou moins éloigné. C'est une vision intuitive que l'on retrouve dans de nombreux discours, tenus aussi bien par certains pêcheurs eux-mêmes que par des responsables administratifs : la nature étant "bien faite", seules les ressources non exploitées seraient supposées être en situation d'équilibre avec leur milieu.

Dans un tel schéma, l'abondance d'un stock à l'état vierge reste plus ou moins constante au cours du temps (ce qui n'exclut pas, d'ailleurs, des fluctuations autour d'une valeur moyenne). Le développement d'une exploitation vient rompre cet équilibre, dès lors qu'on n'a plus à faire à une pêcherie artisanale supposée ancestrale et considérée "naturelle" (c'est la classique vision de l'externalité de l'homme à la nature). Les captures réalisées diminuent notamment le potentiel reproducteur du stock, initiant ce que le non biologiste perçoit comme le début d'une spirale infernale : moins de géniteurs entraînent moins de descendants, donc moins de géniteurs encore à la génération suivante... et ainsi de suite jusqu'à extinction du stock. Un telle dynamique d'évolution peut, par exemple, être modélisée par la version la plus simple du modèle matriciel de Leslie.

Dans ce schéma, la gestion des pêches est assimilée à la protection des stocks. On cherche à maintenir ou à ramener l'intervention de l'homme dans les limites du naturel ; à défaut, on essaie de la compenser en "aidant" la nature. Le rôle assigné au biologiste des pêches est alors de fournir les connaissances nécessaires à une minimisation de l'impact de l'exploitation sur la ressource. Il doit en particulier proposer des moyens efficaces pour protéger ou restaurer le potentiel reproducteur.

On notera que c'est sur un tel schéma que fonctionne encore actuellement la gestion de la plupart des ressources halieutiques en milieu dulçaquicole. L'exploitation des Salmonidés donne par exemple lieu à des opérations d'alevinage, qualifiées de "programme de soutien des populations naturelles". Non sans raisons d'ailleurs, les modèles de dynamique des populations utilisés dans ce cadre découlent souvent, plus ou moins directement, du modèle de Leslie.

En milieu marin en revanche, ce type de modèle n'est plus utilisé, sans doute parce qu'une troisième idée fondamentale est

venue s'ajouter aux deux précédentes et modifier l'ensemble du schéma de pensée.

## 1.2- ... l'évaluation des stocks...

Cette troisième idée est directement issue des premiers travaux menés par les dynamiciens des populations, lesquels s'intéressaient aux phénomènes de compétition intra-spécifique (modèle de Verhulst-Pearl) ou de relations prédateurs / proies (modèle de Lokta-Volterra). Elle peut s'exprimer de la manière suivante :

3. Quelle que soit son abondance, une population naturelle fournit une production naturelle qu'il est possible de prélever, notamment par pêche, sans modifier le niveau initial d'abondance. Le stock halieutique est ainsi assimilable à un cheptel exploité de manière extensive ; les prélèvements opérés chaque année n'obèrent pas l'avenir, à la condition suffisante qu'ils n'excèdent pas la production naturelle. Celle-ci dépend à la fois de la taille du cheptel et des caractéristiques de son enclos (surface, richesse trophique...) .

Une seule hypothèse de base suffit pour qu'une telle affirmation puisse être modélisée par un système d'équations simples. Cette hypothèse est la suivante : un stock naturel est en équilibre stable avec son milieu. Admettre ceci conduit en effet à admettre que toute diminution de l'abondance d'un stock entraîne des mécanismes de régulation et de compensation ; en particulier, l'introduction d'une exploitation se traduit par un accroissement de la productivité du stock qui tend à compenser, sous une forme ou sous une autre, la diminution d'abondance des géniteurs. Autrement dit, il n'est pas nécessaire, voire pas souhaitable, de chercher à minimiser l'impact de l'exploitation sur le stock, car celui-ci présente une capacité de réaction. Naturellement, cette capacité a des limites qu'il convient de ne pas dépasser.

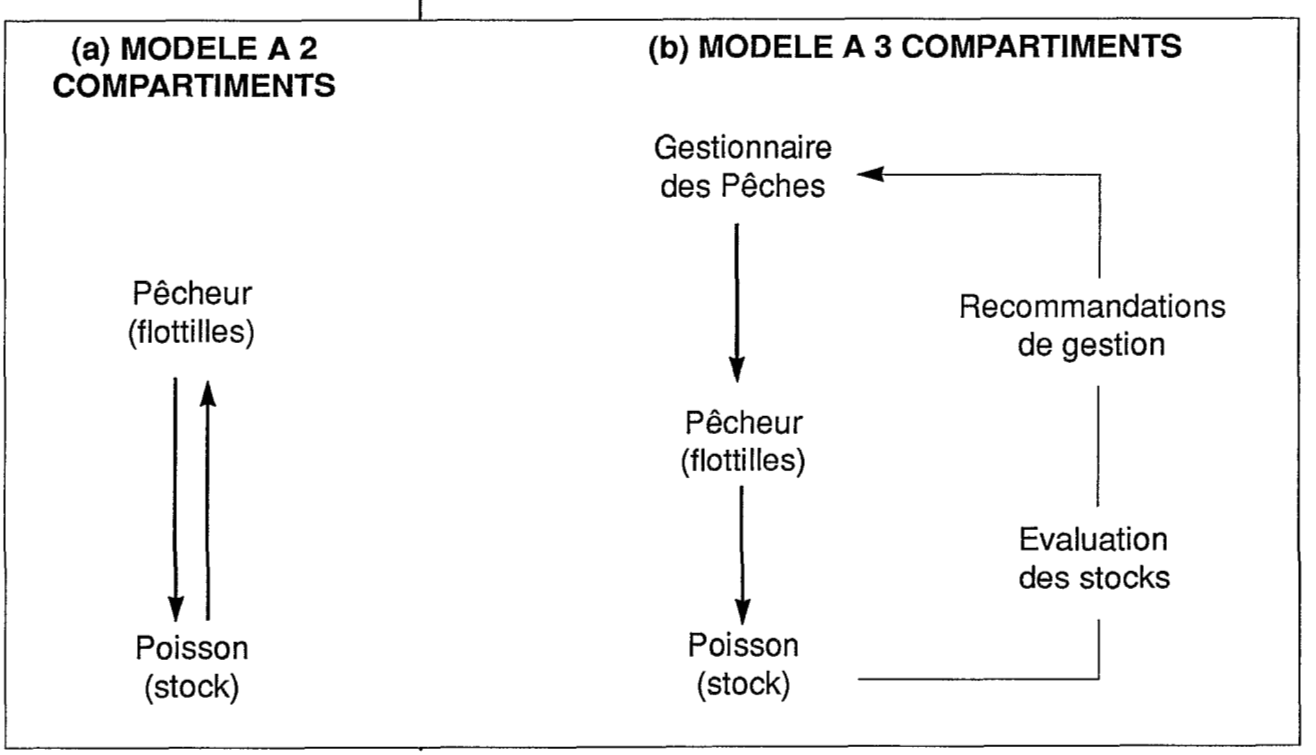
C'est de ce schéma que rend compte le classique modèle de Graham-Schaefer, et plus généralement l'approche dite globale de la dynamique des stocks halieutiques. Le système pêche reste ici un système à deux compartiments, mais qui appartiennent cette fois l'un et l'autre à la nature : le pêcheur/prédateur d'une part, et le poisson/proie d'autre part (Figure 1a). Le

modèle global permet en définitive de modéliser les capacités de réaction de la proie aux variations d'abondance du prédateur.

Deux aspects complémentaires ont contribué au succès de ce type de schéma. D'une part, il dépasse, sans la contredire complètement, la vision protectionniste précédemment évoquée ; la crainte intuitive d'une extinction du stock, en cas de sur-pêche, se trouve ainsi pleinement validée. D'autre part, on met en évidence des possibilités à long terme, pour une exploitation qui peut dans certains cas être intense. En quelque sorte, la découverte du modèle global offre aux responsables des pêches des milliers de tonnes à exploiter, sans scrupules pour l'avenir...

Le rôle du chercheur halieute apparaît ici particulièrement important. Il a vocation à définir la limite en deçà de laquelle l'exploitation ne met pas en danger la survie du stock. Bien plus, il précise quel est le niveau d'exploitation qui permet de tirer le profit maximum des possibilités offertes par la nature. C'est la notion classique, aujourd'hui dépassée, de l'effort de pêche optimal.

Figure 1 - Le système halieutique : schémas conceptuels simples.



Si on s'en tient là cependant, il n'y a pas de régulation externe du système. En particulier, le scientifique ne fait ici qu'étudier et quantifier la relation prédateur/proie. Théoriquement, on montre que ce système livré à lui même tend alors à évoluer spontanément vers une situation d'équilibre ou de pseudo-équilibre ; la raréfaction de la ressource conduit inévitablement à limiter l'accroissement de la pression de pêche.

## 1.3- ... et la gestion des pêches

Très généralement, le schéma est cependant complété par deux idées empiriques, qui viennent accroître encore le rôle de l'halieute :

4. L'autorégulation du système n'est pas souhaitable ; l'absence d'intervention des pouvoirs publics conduit fatalement à une situation économiquement et socialement peu satisfaisante, voire catastrophique. On redoute ainsi une surexploitation intense, entraînant à terme des niveaux d'abondance du stock très faibles. A l'extrême, on peut craindre l'extinction du stock, accompagnée de la disparition de la pêcherie (ce qui constitue aussi une situation d'équilibre).

5. L'autorégulation n'est pas fatale ; des mesures de gestion, concernant tout particulièrement la réglementation des pêches, peuvent permettre de réguler l'exploitation, c'est-à-dire de limiter son développement.

L'ajout de ces deux idées conduit à considérer le système pêche comme un système à 3 compartiments : le gestionnaire, le pêcheur, et le poisson. Les mesures prises par le premier régulent (ou sont censées réguler) l'activité du second ; celle-ci détermine à son tour l'abondance du troisième. Une des conséquences majeure de ce scénario est que la gestion des pêcheries et la gestion des stocks sont ici confondues.

Vis-à-vis d'un tel système, la dynamique des populations a vocation à évaluer l'état des stocks et à analyser les relations entre stock et exploitation. On doit en déduire des diagnostics et des pronostics dont découlent directement des recommandations de gestion. Le biologiste des pêches est en quelque sorte le maillon nécessaire entre le stock et le gestionnaire,

pour assurer de manière volontariste une régulation harmonieuse du système (Figure 1b).

Ainsi, le chercheur halieute, identifié au biologiste des pêches, ne se contente plus seulement d'analyser, de quantifier, de prédire la dynamique des ressources naturelles. Il peut, et souvent il doit, recommander un niveau d'exploitation, proposer des mesures de gestion, en prévoir les implications éventuelles. Il apparaît comme détenteur d'une connaissance et d'une rationalité scientifique qui s'imposent à tous les auteurs, conduisant à "la gestion rationnelle des pêches". (Qui revendiquerait une gestion irrationnelle ?). Pour reprendre une métaphore usuelle: "le système pêche est un bolide fonçant tous feux éteints dans la nuit noire ; l'évaluation et la modélisation des stocks permettent d'équiper le véhicule de phares et de le doter de freins".

On comprend qu'un tel enjeu mobilise l'ensemble de la recherche halieutique. De l'étude de la biologie ou de l'écologie des espèces à l'analyse des caractéristiques de la pêcherie, le but final recherché est la modélisation de la dynamique des stocks exploités.

## 1.4- La place du modèle

Fondamentalement, ce n'est pas le formalisme mathématique utilisé qui est à la source d'un certain schéma de pensée. Ni le caractère déterministe des équations, ni les hypothèses mises en oeuvre (notamment la fameuse hypothèse d'équilibre dont la discussion mériterait une communication à elle seule), ni le choix d'un maximum de production comme fonction objectif, n'imposent ou ne justifient la place accordée à la modélisation. Schéma de pensée et modélisation mathématique entretiennent évidemment entre eux des relations dialectiques (La seconde peut en particulier tendre à valider le premier, en lui accordant une "caution scientifique"). Nous verrons cependant, que ce n'est pas un champ disciplinaire qui est en cause. Dans un tel cas, la science n'est pas externe à la société ; pour l'essentiel, la communauté scientifique ne fait que rechercher, sous une forme et avec des objectifs qui lui sont propres, une représentation conforme à la vision globale acceptée par l'ensemble des acteurs du domaine des pêches.

Evidemment, la présentation schématique effectuée ici, comporte une part de caricature. En particulier, les biologistes des pêches ont toujours eu une perception de la réalité beaucoup plus riche que ne pourrait le laisser supposer le simple énoncé de quelques idées simples. Un tel schéma ne doit cependant pas être considéré comme une représentation de la réalité, représentation qui aurait été jugée valide à un moment donné de la connaissance (et qu'il suffirait de remplacer aujourd'hui par une autre représentation simple, à la recherche d'une nouvelle "science magique" appropriée). Il constitue plutôt le "schéma opérationnel retenu pour l'action". Autrement dit, il regroupe le nombre minimal de termes nécessaires, dans l'optique d'une recherche opérationnelle. C'est en quelque sorte ce qui reste d'essentiel lorsque ont été éliminés tous les phénomènes jugés à une époque soit d'intérêt secondaire, soit inaccessibles à la connaissance, soit non maîtrisables dans une optique de gestion.

De ce point de vue, on doit surtout souligner l'extraordinaire succès rencontré par cette démarche. Non seulement, elle a longtemps fait l'objet d'une large unanimité dans la communauté scientifique concernée ; non seulement, elle a été très largement acceptée par l'ensemble des responsables administratifs ou politiques en charge du domaine des pêches ; mais elle a conduit à la mise en place des structures opérationnelles correspondantes, à l'échelle nationale et internationale. C'est ainsi, par exemple, que les stocks halieutiques de l'Atlantique nord-est sont depuis le début du siècle sous le contrôle du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (le CIEM). Aujourd'hui, ce conseil possède des pouvoirs extrêmement étendus en matière de réglementation des pêcheries européennes.

Quelle autre communauté scientifique peut-elle se prévaloir, surtout il y a quelques décennies, d'une situation pareille : les résultats appliqués de la recherche ont conduit à la création d'organisations internationales, auxquelles ont progressivement adhéré la plupart des états de la planète, avec l'objectif affiché de mettre en oeuvre une politique en totalité issue des avis de la dite communauté scientifique ?

Pour une large part, ce succès tient non pas au biologistes et à leurs modèles, mais à la cohérence interne du schéma simple qui s'impose à tous : aux pêcheurs et à l'ensemble de l'opinion publique parce qu'il semble intuitivement découler du bon

sens commun ; aux responsables administratifs et politiques des pêches qui y trouvent une justification et une marge de manoeuvre pour leur pouvoir de régulation de l'activité de pêche ; aux scientifiques, enfin, qui y trouvent une cohérence entre des recherches fondamentales diverses et une activité de recherche finalisée ou d'expertise.

Encore aujourd'hui, nous verrons que ce schéma garde une part de validité conceptuelle et opérationnelle, dans un certain nombre de situations. Cette validité, en tant que cadre général de pensée, tend cependant à être de plus en plus remise en cause, de manière encore relativement timide dans les organisations internationales chargées de la gestion des pêches, mais de manière plus nette dans les organismes de recherche scientifique.

## 2. DU SCHÉMA SIMPLE AUX DYNAMIQUES COMPLEXES : LA REMISE EN CAUSE

### 2.1- La remise en cause de la pratique...

Pour une large part, la remise en cause des schémas de pensées antérieurs découle aujourd'hui de l'expérience pratique. En premier lieu, on constate qu'un nombre régulièrement croissant de stocks halieutiques sont, de manière durable, en situation dite de surexploitation biologique. Pour certains, la surexploitation peut être particulièrement forte ; une diminution importante de la pression de pêche se traduirait alors, de manière certaine et comparativement au maintien du *statu quo*, par des gains conséquents de captures. Ceci est vrai y compris pour des stocks qui font l'objet de procédures d'évaluation et de recommandations de gestion depuis plusieurs décennies.

On en trouvera de nombreux exemples parmi les stocks exploités dans les eaux de l'Union Européenne. Ni les politiques de restriction des captures, par l'intermédiaire des quotas de pêches, ni les mesures directes de régulation du nombre de navires, par l'intermédiaire des permis de pêche, n'ont permis d'éviter une situation de surexploitation générale. On estime par exemple que la surexploitation de la mer du nord conduit

actuellement à des captures qui sont de 40 % inférieures au potentiel de production biologique.

Dans un grand nombre de cas, ce n'est d'ailleurs pas tant la fiabilité des diagnostics qui est en cause, que l'application réelle des mesures recommandées. Quoi qu'il en soit, le caractère très général de l'échec amène à considérer que diagnostics et recommandations ne permettent pas une régulation du système. Les méthodes de dynamique des populations sont insuffisantes en tant qu'outils de gestion ; en quelque sorte, elles n'ont pas permis "d'équiper le véhicule Pêche avec des freins efficaces".

Pour quelques stocks, moins nombreux que les précédents, ce sont les fonctions de diagnostic et de prévision des modèles qui sont mises en défaut. On a ainsi assisté à des variations fortes d'abondance de certaines ressources, alors même que des études complètes et rigoureuses n'avaient rien laissé prévoir. Un exemple en est donné par la morue du Canada, dont le stock s'est effondré en quelques années, alors que les diagnostics formulés auparavant, et considérés comme fiables, étaient tous optimistes. La nature de l'échec est ici différente ; c'est la capacité de la modélisation à "équiper le véhicule avec des phares" qui est en cause.

Enfin, et peut-être de manière plus générale, les situations de crises récemment observées dans le monde des pêches, et notamment en France au cours des dernières années, ont été ressenties comme découlant plus de problèmes d'ordre économique que de problèmes biologiques. C'est l'accès au marché et les prix de vente qui ont été mis en avant, plus que l'accès à la ressource et les quantités débarquées. Les grandes manifestations des pêcheurs bretons, au début 1994, sont ainsi intervenues dans un contexte d'apports relativement soutenus, mais de cours fortement dépréciés. Cette constatation donne corps à l'idée que l'évaluation des stocks a un intérêt sinon marginal en tout cas non prioritaire comparativement à l'analyse économique.

Naturellement, face à ces remises en cause issues de l'expérience, les biologistes ne restent pas sans réponses. Pour noter que les productions en valeur et les résultats économiques de la filière, restent très généralement dépendants d'une quantité débarquée. Pour rappeler qu'à côté des échecs cuisants existent aussi des succès remarquables (Un exemple type en est l'exploitation des crevettes au nord de l'Australie : une simple

limitation de la saison de pêche a permis de limiter les coûts et d'accroître la production, entraînant un quadruplement des revenus de la pêche). Plus fondamentalement, les biologistes soulignent que la situation actuelle ne doit pas être jugée en référence à un schéma idéal, mais comparativement à ce qu'elle serait en l'absence de toute procédure d'évaluation et de gestion des stocks. (Où en seraient les pêcheries européennes sans l'action du CIEM ?)

Ces réponses sont en elles-mêmes peu contestables. Elles restent cependant insuffisantes dans la mesure où ce n'est pas tant telle ou telle situation qui est caractérisée par l'échec, qu'un schéma de pensée général. Ce qui est en cause ce ne sont pas les évidentes imperfections des méthodes (les trop grandes simplifications opérées par les modèles) ; ce n'est pas leur inadaptation à certains cas particuliers, fussent-ils fréquents (les écarts trop importants à des hypothèses trop contraignantes). C'est la nature même des relations entre analyse de la dynamique des ressources et procédures de gestion des pêches ; c'est une vision du système pêche ramené au "schéma opérationnel pour l'action" précédemment présenté.

Ceci est d'autant plus vrai que la remise en cause ne découle pas que de l'expérience. Elle est aussi issue de la réflexion scientifique elle-même.

## 2.2- ... et la remise en cause scientifique

Cette remise en cause scientifique s'effectue parallèlement à la première. Schématiquement elle s'articule autour de trois directions principales.

- L'analyse successive des différents stocks exploités par une pêcherie a logiquement conduit à l'idée qu'il fallait tenir compte de la plurispécificité des captures, dans la formulation des diagnostics et des recommandations de gestion. Progressivement, on s'est intéressé aux relations entre espèces, notamment aux relations prédateur/proie (le "who eats who", particulièrement étudié par l'école Danoise depuis une vingtaine d'années). On a cherché à analyser les autres formes de compétition interspécifique, à étudier les phénomènes d'émergence de nouveaux stocks, de remplacement

d'une espèce par une autre, (...). On tente finalement d'appréhender la dynamique générale de l'écosystème productif.

Au cours de ce cheminement, toujours d'actualité, les modèles usuels de la dynamique des populations halieutiques apparaissent insuffisants pour répondre aux nouvelles questions posées. Les concepts et les méthodes, voire les démarches, relevant plus directement du domaine de l'écologie voient leur intérêt revalorisé, tendant à l'émergence d'un nouveau champ disciplinaire propre : l'écologie halieutique.

- La seconde remise en cause peut être reliée à la prise en compte de l'environnement hydroclimatique. Ici aussi, la nécessité de cette prise en compte s'est d'abord fait sentir dans des situations concrètes : il est apparu utile de tenir compte, ici, des changements saisonniers pour mieux estimer les capturabilités et aboutir à des diagnostics plus fiables ; la variabilité inter annuelle du recrutement a été reliée, là, à tel paramètre ou à tel phénomène climatique ; les changements tendanciels du climat ont été considérés comme la cause ou l'une des causes de la régression ou du développement de telle ou telle ressource...

  Dans un premier temps, on a recherché une sophistication des modèles usuels. Par exemple : en travaillant sur une base saisonnière, en incluant une dimension stochastique, en rajoutant un paramètre environnemental... Progressivement, l'approche des relations pêche/climat s'enrichit et le champ des disciplines concernées s'élargit. On tend désormais à faire directement appel à l'océanographie, à la climatologie.

- La troisième remise en cause scientifique (l'ordre n'est ici ni chronologique, ni hiérarchique) a trait au domaine de l'économie des pêches. De la recherche d'une production maximale en tonnage, on est passé à l'étude d'une production en valeur, puis à celle d'une marge brute, d'une rente économique. Aujourd'hui, l'analyse économique aborde les problèmes de rentabilité des entreprises de pêche, de compétitivité ; elle s'intéresse aux modes d'appropriation de la ressource, à l'impact des politiques sectorielles de l'état... Ici encore, on est passé d'une sophistication des modèles, à la modélisation bio-économique et à l'économétrie, pour finalement avoir recours aux méthodes et théories économiques proprement dites. Cette "intrusion" des sciences sociales tend actuellement à se diversifier en direction du droit, de la sociologie, de l'anthropologie, de la géographie...

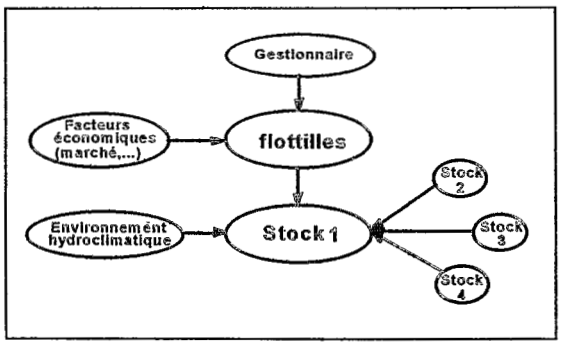
## 2.3- Vers une redéfinition de l'Halieute et du système pêche

Dans tous ces processus (et on pourrait sans doute identifier d'autres domaines scientifiques de remise en cause), l'élargissement du rôle du biologiste des pêches a constitué une tentation. L'halieute "généraliste" était ainsi censé aborder l'ensemble des problèmes, de l'étude de la biologie et de l'écologie des espèces exploitées, jusqu'à la modélisation bio-économique.

Pour l'essentiel cependant, c'est aujourd'hui un processus de spécialisation et de diversification des champs disciplinaires qui semble dominant. En liaison avec l'enrichissement des savoirs et la complexification des méthodes, la biologie des pêches elle-même se fractionne. Désormais, on ne fait plus une recherche performante en travaillant à la fois sur la biologie des organismes et sur la biologie des populations. En particulier, la dynamique des populations halieutiques tend à devenir un champ de recherche propre et non plus l'aboutissement final de toute la biologie des pêches.

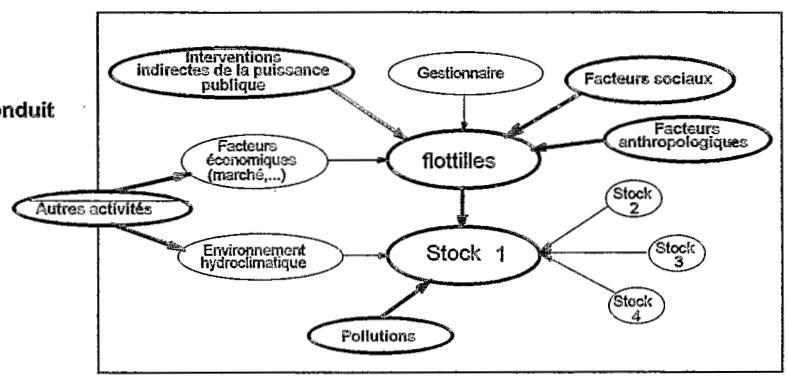
Dans le même temps, nous avons vu que le biologiste a appelé l'écologue, l'économiste et l'océanographe. A leur tour, ceux-ci font appel au biométricien, au sociologue, au climatologue, au géographe (...). La diversité des approches et des connaissances incite à l'intervention des cogniticiens, des systémiciens. L'aboutissement logique de cette évolution est de considérer que la vision classique de l'Halieute est aujourd'hui dépassée. Celui dont les travaux ont pour application pratique l'évaluation des stocks occupe certes une place stratégique, et aujourd'hui encore dominante (nous y reviendrons). Fondamentalement cependant, il relève d'une discipline parmi d'autres disciplines. Toutes appartiennent de plein droit au domaine de l'halieutique, dés lors qu'elles ont pour objet l'étude de tout ou partie d'un système halieutique.

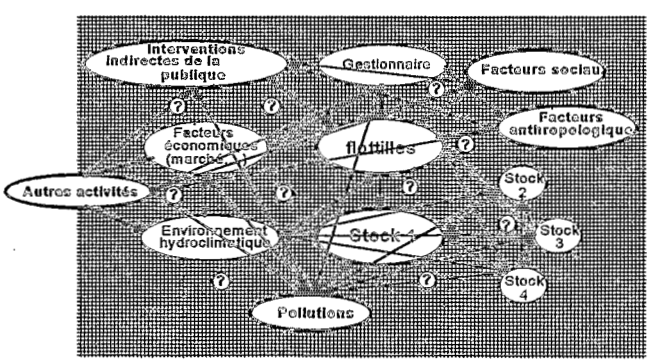
Cette notion de Système, tend à s'imposer depuis un petit nombre d'année. Elle doit naturellement renouveler le schéma de pensée antérieur (Figure 2). Partant d'une vision simple, l'apport d'autres approches disciplinaires s'est d'abord traduite par une complication du système. La prise en compte des interactions multiples entre les éléments de ce système, les notions d'incertitude ou de risque, la dimension spatiale des phénomènes (...) conduisent à passer de la complication à la complexité.




**Le biologiste des pêches fait appel à l'économiste, à l'écologue et à l'océanographe**

**La multidisciplinarité conduit à la complication**




**Les interrelations, la spatialisation des phénomènes et l'aléatoire conduisent à la complexité**

- Dynamique des flottilles
- Dynamique des ressources

Figure 2 - Du schéma simple au système complexe.

Le système pêche, dont les limites sont d'ailleurs elles-mêmes à définir, apparaît ainsi comme obéissant à une dynamique qui, par nature, n'est pas réductible à un petit nombre de déterminants ou à un petit nombre d'équations unitaires. En particulier, la dynamique d'évolution des flottilles, comme la dynamique des stocks résultent de processus dans lesquels interviennent de multiples éléments et de multiples interactions. Certains phénomènes peuvent être dominants à un moment donné ; aucun n'est à négliger a priori dans les évolutions sur le moyen ou le long terme.

Cette perception du système pêche en tant que système complexe conduit à ce qu'il devienne lui-même un objet de recherche dont on essaie de comprendre la dynamique interne. Chaque discipline apporte sur l'ensemble un éclairage particulier, dépendant notamment de sa focalisation sur tel ou tel élément du système, de ses approches et méthodes, de son système de représentation des connaissances. Evidemment, cette façon de voir revalorise l'approche multi et pluridisciplinaire.

## 2.4- Premières réactions des acteurs

Certaines réactions des acteurs, à cette évolution des concepts et des champs disciplinaires mis en oeuvre, méritent d'être notées. Chez les halieutes, au sens ancien du terme, la difficulté que peut présenter un processus de remise en cause conduit à des réactions diverses. On peut succinctement les résumer sous la forme de trois attitudes caricaturales.

- "L'halieute sceptique", à défaut de pouvoir nier en bloc la complexité, la contourne. Le discours est alors du type "Tout ça ce sont de bien belles constructions intellectuelles. Mais où arrêter la prise en compte des éléments intervenant dans le système ? A la limite, pourquoi pas Dieu tant qu'on y est ? Dans la pratique, restons sur terre : même avec ses imperfections, seule l'évaluation des stocks a aujourd'hui fait la preuve de son utilité comme aide à la gestion des pêches".
- La seconde attitude correspond au scientifique qui, à défaut de savoir comment aborder la complexité, devient lui-même un "halieute complexé". "Oui, c'est vrai, mes méthodes sont tout à fait inadaptées face à la complexité réelle du vivant, et insuffisantes comme outil de gestion du système pêche. Mais

comme personne n'a aujourd'hui proposé de solution alternative, on est bien obligé d'utiliser les vieilles (et mauvaises) méthodes pour essayer de faire le peu qui peut être fait".

- "L'halieute migrant", enfin, juge nécessaire de changer d'objet ou de champ disciplinaire : "L'évaluation des stocks découle d'une vision simpliste appliquée sur une réalité complexe. Elle présente au mieux un intérêt pour l'expertise ; elle peut, en ce sens, constituer l'une des charges administratives du scientifique. Mais la recherche proprement dite doit s'intéresser à d'autres questions si elle veut être innovante".

Chacune de ces attitudes comporte une part de vérité plus ou moins importante. Aucune n'est évidemment satisfaisante sur le fond.

Certaines réactions des scientifiques appartenant aux disciplines nouvellement venues dans le domaine halieutique, sont également significatives. Souvent on peut identifier une tendance assez nette : celle qui consiste à justifier systématiquement sa propre démarche scientifique, au travers d'une critique plus ou moins virulente de la dynamique des populations. Comme si l'intérêt d'une discipline devait se définir en démontrant l'échec de l'autre.

Cette réaction est évidemment logique compte tenu de la position, souvent ressentie comme hégémonique, occupée par l'évaluation des stocks. La critique contribue cependant, sans doute à son corps défendant, à entretenir la confusion. D'abord parce que décréter l'échec d'une discipline revient à masquer l'échec plus profond d'une certaine vision du monde halieutique. Ensuite, parce que cette démarche risque de déboucher sur une quête vraisemblablement vaine : celle d'une nouvelle "science magique" (fusse-t-elle la systémique ou la pluridisciplinarité) remplaçant l'ancienne. Enfin, et peut-être surtout, la critique débouche souvent sur l'idée illusoire que la dynamique du système pêche pourrait être appréhendée en faisant l'économie d'une analyse des relations entre l'activité des flottilles et la dynamique des stocks exploités. Comme on le verra ci-après, les méthodes de modélisation de la dynamique des populations restent pour cette analyse, d'une très grande utilité.

# 3. LES MODÈLES DE DYNAMIQUE DES POPULATIONS : UNE APPROCHE DÉGLOBALISANTE DE LA COMPLEXITÉ ?

## 3.1- Du système complexe aux relations simples : trois approches de la complexité

L'étude des systèmes complexes fait aujourd'hui l'objet de nombreux travaux de recherche, notamment dans le domaine des sciences du vivant. Il est naturellement hors propos d'en analyser ici les diverses théories. En revanche, il convient d'identifier trois catégories d'approches, qui peuvent être mises en oeuvre lorsqu'on étudie un système reconnu comme étant de nature complexe. C'est en référence à ces trois approches qu'on essaiera de cerner la place des modèles de dynamique des populations.

- Une première démarche peut être qualifiée d'**approche systémique**. Elle vise à accepter l'ensemble de la complexité. On prend ainsi en compte les multiples compartiments du système, leurs interrelations, la variabilité spatiale et temporelle, les processus intervenant à différentes échelles et à différents niveaux d'organisation, (...). On cherche à intégrer l'ensemble des connaissances acquises sur le système, qu'elle qu'en soit l'origine disciplinaire. On essaie de mettre à jour des dynamiques internes et d'analyser des possibilités d'évolution. La modélisation, lorsqu'elle est utilisée, à ainsi plus vocation à l'analyse et à "l'exploration des possibles", qu'à la prédiction ou à la décision.

  La complexité se traduit ici par du compliqué. La représentation des connaissances acquises sur le système est en soit un champ de recherche propre, qui donne lieu au développement ou à l'utilisation de méthodes spécifiques (intelligence artificielle, modélisation complexe, simulations, ...). Il est généralement admis que la modélisation du système complexe en tant que tel, n'a de sens que si elle s'appuie sur un ensemble de connaissances important et divers. Ce n'est d'ailleurs pas le moindre de ses intérêts que de conduire à une formalisation de nature intrinsèquement multidisciplinaire.
- Une seconde démarche peut être qualifiée d'**approche globa-**

**lisante** ou synthétique. Elle vise à simplifier la complexité. Ne doivent, par principe, être pris en compte, que les principaux phénomènes, que les relations déterminantes, que les évolutions tendancielles lourdes. Volontairement, la variabilité spatiale, ou la variabilité temporelle à échelle fines ne sont pas prises en compte. Les processus sont eux-mêmes hiérarchisés. Cette approche globalisante n'est pas négation de la complexité, à la condition qu'elle s'appuie sur une analyse de l'évolution du système et non sur des choix a priori. C'est donc l'analyse qui valide le choix des mécanismes ou des relations déterminantes pris en compte. La modélisation a dans ce cas un intérêt évident dans une optique explicative : elle conduit à une représentation formelle du système, qui doit rendre compte de sa dynamique globale telle qu'elle a pu être observée dans le passé.

La complexité se traduit ici par du contraignant. En effet, la modélisation vise aussi un objectif prédictif. Cette qualité prévisionnelle n'est acquise qu'au prix d'un ensemble d'hypothèses, dont le caractère plus ou moins réaliste varie selon les cas étudiés. En particulier, la prédiction peut être vue comme un processus d'extrapolation du modèle dans le futur, c'est-à-dire en dehors de son intervalle d'ajustement qui est le passé. Cette extrapolation n'est valide que sous l'hypothèse d'une certaine stabilité des phénomènes et des relations quantitatives mises en évidence.

- Une troisième démarche peut être qualifiée d'**approche déglobalisante** ou analytique. Elle vise à fractionner la complexité en éléments simples. On s'intéresse ainsi à un élément ou à un petit nombre d'élément du système ; on cherche à identifier et à analyser des relations et des mécanismes unitaires existants au sein de la complexité. Cette approche déglobalisante s'attache à comprendre des processus ; elle conduit souvent à les quantifier. Pour l'essentiel, la modélisation a ici vocation à formaliser les connaissances quantitatives, acquises sur les relations simples qui existent entre certains éléments du système.

  La complexité se traduit cette fois par du partiel. Le modèle ne vise ni à l'explication ni à la prédiction de l'ensemble du système, puisqu'il ne se rapporte qu'à une partie de celui-ci. Naturellement, l'objectif à terme est souvent de "reconstruire" ensuite le complexe. L'approche déglobalisante entretient ainsi des relations directes avec les deux précédentes. Vis-à-vis de la

seconde, elle peut contribuer à identifier et à comprendre les déterminants essentiels de la dynamique globale du système. Vis-à-vis de la première, elle contribue à nourrir la base de connaissances nécessaire à la modélisation systémique.

## 3.2- L'approche "dynamique des populations" en halieutique

Dans le domaine de l'halieutique, certains travaux de recherche récents relèvent assez directement des sciences cognitives ou systémiques et se rattachent donc assez clairement à la première approche. C'est par exemple le cas d'études faisant appel à l'intelligence artificielle ou à la simulation spatiale par des modèles à compartiments. L'approche globalisante, quant à elle, est bien représentée par la modélisation bio-économique, qui donne lieu à de nombreuses applications.

Nous reviendrons sur les relations que la dynamique des populations peut entretenir avec ces deux approches, systémique ou globalisante. Au moins dans un premier temps, les méthodes de modélisation utilisées en évaluation des stocks doivent cependant être considérées comme relevant du troisième type de démarche, c'est-à-dire, de l'approche analytique d'une partie de la complexité. Fondamentalement, elles s'intéressent en effet à deux des compartiments du système : les flottilles d'une part, les stocks exploités de l'autre ; elles analysent d'abord des phénomènes unitaires. Les modèles de dynamique des populations halieutiques quantifient ainsi les relations existant entre, d'une part, les caractéristiques d'une exploitation (définies par la notion de régime d'exploitation), et d'autre part, les caractéristiques d'un stock. Cette analyse s'appuie sur les relations robustes qui existent entre ces différentes caractéristiques et qui sont connues par l'intermédiaire de procédures d'estimations.

Dans cette démarche, la connaissance ou la compréhension de la dynamique du stock exploité ne constitue pas l'objectif final des recherches. Elle n'est qu'un moyen, en quelque sorte une connaissance intermédiaire, pour analyser in fine les relations entre ce que fait le pêcheur et ce qu'il obtient du stock. Autrement dit, presque par principe, on ne s'intéresse fondamentalement qu'aux déterminants de la dynamique du stock qui

dépendent de l'exploitation. Paradoxalement, on peut ainsi considérer que la discipline identifiée en halieutique sous l'appellation "dynamique des populations" ne s'intéresse, dans le cas général, ni à des populations (mais à des stocks), ni à leur dynamique (mais à la liaison entre cette dynamique et l'exploitation).

Naturellement, dans certains cas, les modèles se compliquent. Ils prennent, par exemple, en compte des facteurs environnementaux ou des caractéristiques de l'environnement biotique. Même dans ce cas, l'objectif essentiel reste généralement l'étude des relations entre le régime d'exploitation et les rendements qu'on peut en attendre. On cherche à retrouver les relations simples, décrivant une partie de la complexité, masquées derrière d'autres processus déterminant la dynamique des ressources.

## 3.3- Des relations simples au diagnostic : l'exemple du modèle de rendement par recrue.

L'articulation entre "système complexe" et "modèles de dynamique des stocks" repose sur cette première idée essentielle : au sein de la complexité, existent des relations simples qui peuvent être analysées et quantifiées de manière pertinente par les méthodes usuelles de modélisation. Un exemple de cette démarche peut être donné avec le modèle de rendement par recrue, qui est aujourd'hui une des principales approches utilisées en matière d'évaluation des stocks.

Ce modèle s'appuie sur l'analyse des trois relations unitaires suivantes :

- Plus une cohorte vieillit, plus son effectif diminue. C'est ici le processus de mortalité qui est pris en compte, par l'intermédiaire d'un modèle de survie reliant l'effectif de la cohorte à son âge.
- Plus un animal vieillit, plus il grossit. C'est ici le processus de croissance pondérale qui est pris en compte, par l'intermédiaire d'un modèle de croissance individuel reliant le poids de l'animal à son âge.
- Plus on pêche de manière intense, plus la probabilité de capture de chaque poisson augmente. C'est ici le processus d'exploitation lui-même qui est pris en compte, par l'intermédiaire d'un modèle de capturabilité reliant la notion d'effort de pêche à celle de mortalité par pêche.

Dés lors qu'on tient compte de ces trois relations, on est amené à s'interroger sur la manière dont l'exploitation tire profit des poissons qui sont recrutés chaque année dans le stock, suite au processus de reproduction. En combinant les trois modèles unitaires précédents, on montre qu'une exploitation intense conduit à la capture d'un grand nombre de poissons, mais qui sont en moyenne petits. A l'inverse, des efforts de pêche faibles conduisent à la capture de poissons moins nombreux mais plus gros. L'effet de variations de l'effort de pêche, sur l'utilisation du recrutement disponible, dépend donc d'un bilan entre le nombre de poissons capturés et leur taille, entre le processus de croissance et celui de mortalité (naturelle ou par pêche). Le modèle de rendement par recrue a précisément pour vocation de quantifier ce bilan. Il conduit à une estimation du poids capturé en moyenne par poisson recruté (exprimée, par exemple, en grammes par recrue, ou en tonnes par million de recrues) ; cette estimation est calculée en fonction de l'effort de pêche développé par l'ensemble de la pêcherie, ou de l'effort de chaque métier ou flottille.

L'existence d'une relation entre les captures issues d'un recrutement quel qu'il soit, et l'effort de pêche est donc une conséquence triviale des processus de mortalité par pêche, de mortalité naturelle et de croissance. La modélisation de chacun de ces processus unitaires, et le modèle de rendement par recrue lui-même, s'appuient sur un formalisme mathématique qui reste généralement assez simple, en faisant appel à un petit nombre d'équations déterministes.

Ceci ne signifie ni que la modélisation soit facile, ni qu'elle conduit à des calculs exacts. Les procédures d'ajustement des modèles et d'estimation des paramètres compliquent souvent singulièrement le problème. Un bon exemple en est donné avec le modèle de capturabilité dont le formalisme peut être d'une simplicité absolue ($F=qf$), mais dont la mise en oeuvre est depuis plusieurs décennies l'objet de débats scientifiques et de travaux de recherche.

Ce qu'il faut retenir en définitive, c'est que la relation est certaine ; on peut choisir, pour en rendre compte, un modèle dont le formalisme mathématique reste simple ; mais ce modèle conduit toujours à une estimation. Autrement dit, la courbe de rendement par recrue obtenue comporte une part d'incertitude et le modèle doit évidemment être l'objet d'une analyse critique.

Notons qu'il n'y a là aucune particularité propre au domaine de la dynamique des populations halieutiques, ni pour conclure à "une tare congénitale" de la modélisation, ni pour prétendre à une supériorité acquise par avance.

Lorsque l'analyse de sensibilité et de robustesse conduit à lui accorder un minimum de fiabilité, le modèle de rendement par recrue constitue un élément de diagnostic qui s'avère pertinent pour la formulation d'avis de gestion.

## 3.4- Du diagnostic de rendement par recrue à l'avis de gestion

Schématiquement, on peut distinguer trois manières différentes d'interpréter les résultats du modèle de rendement par recrue. Elles permettent de comprendre les potentialités et limites de ce type de diagnostic, ainsi que les relations entre puissance du diagnostic et caractère plus ou moins contraignant des hypothèses mises en oeuvre.

- **Le diagnostic du présent** est une manière d'interpréter les estimations obtenues qui n'est ni la plus intuitive, ni la plus courante. Elle est en revanche parfaitement rigoureuse et ne fait appel à aucune hypothèse contraignante. En particulier, on ne préjuge en rien du caractère stable ou instable de la ressource considérée. Plus généralement, aucune hypothèse d'équilibre du système ou de stabilité des processus n'est ici prise en considération. La courbe de rendement par recrue ne permet alors que de juger de la situation actuelle. Aucune valeur prédictive n'est accordée au modèle, la référence à un temps étant absente de l'analyse.

Le diagnostic permet ainsi d'évaluer l'utilisation qui est actuellement fait du recrutement. Cette utilisation peut être comparée à celle qu'aurait permis, au même moment, un autre niveau d'effort de pêche, ou un autre diagramme d'exploitation. Autrement dit, le diagnostic est du type : "Voilà où nous en sommes ; et voilà où nous en serions si les caractéristiques de l'exploitation avaient été différentes de telle ou telle manière". Le stock de merlus du golfe de Gascogne est par exemple dans une situation de très nette surexploitation ; si le nombre de navires capturant cette espèce était deux fois plus faible, on

pêcherait aujourd'hui des merlus moins nombreux, mais plus gros ; au total, la production pondérale serait plus importante.

Dans un diagnostic de ce type, on analyse en particulier : le point de la courbe de rendement par recrue correspondant au niveau d'effort présent, la pente en ce point, l'éloignement du point au niveau de rendement par recrue maximal, (...). Dans une pêcherie multi-flottilles ou multi-métiers, le diagnostic conduit en outre à analyser et quantifier les interactions actuelles entre flottilles ou métiers ; il permet d'étudier les effets potentiels d'un changement du diagramme d'exploitation. Ces éléments d'appréciation de la situation présente sont d'un intérêt évident pour les responsables administratifs ou politiques de la pêcherie considérée.

Pour prendre une image médicale, un tel diagnostic s'apparente à la prise de température du malade. Celle-ci renseigne de manière précieuse sur l'état de santé du patient. Elle ne permet pas de préjuger de l'évolution ultérieure d'une quelconque maladie.

- **La prédiction du rendement à long terme** est la seconde façon d'interpréter le rendement par recrue. Le modèle permet ici d'estimer la production qui sera en moyenne tirée de chaque poisson entrant dans la pêcherie, et ceci pour tout niveau d'effort de pêche et tout diagramme d'exploitation. Cette prédiction n'est pas directement représentative de la production totale du stock étudié, car celle-ci dépend également du recrutement futur qui reste a priori inconnu. On aboutit par contre à une prédiction qui est établie en valeur relative, comparativement au maintien du statut quo. "Tel changement de l'effort entraînera tel gain ou perte de production, par rapport à un effort qui demeurerait constant". Autrement dit, l'imprévisibilité du processus de reproduction fait qu'il n'est pas possible ici d'affirmer : "Voilà combien je pêcherai, si je prends telle où telle mesure". Par contre, le diagnostic et du type "Je pêcherai x % de plus, si l'exploitation évolue de telle manière plutôt que de telle autre".

Cette prévision suppose que le modèle de rendement par recrue obtenu à un moment donné reste valable dans la période future. De ce point de vue, une des premières difficultés rencontré concerne la relation entre effort de pêche et mortalité par pêche. En effet, les modèles de capturabilité, correspondant à cette relation, se révèlent généralement peu stables, en

raison de variations soit de la puissance de pêche des flottilles, soit de la disponibilité du stock. Les dynamiciens savent cependant contourner cette difficulté : ils recourent à des diagnostics exprimés en fonction d'un niveau de mortalité par pêche, et non en fonction d'un effort de pêche.

Il reste que l'interprétation de la courbe de rendement par recrue, en terme de prédiction à long terme, repose sur l'hypothèse d'une certaine stationnarité des processus de mortalité naturelle et de croissance pondérale. Elle suppose, par exemple, que les ressources trophiques dont dispose le stock, ou que la population de ses prédateurs éventuels, ne verront pas leur abondance radicalement modifiée dans la période à venir. Il y a là, en quelque sorte, une hypothèse d'équilibre de l'environnement biotique ou abiotique du stock étudié. L'expérience conduit souvent à considérer cette hypothèse comme raisonnable, au moins à l'échelle d'un petit nombre de décennies. Elle apparaît, en tous cas, moins contraignante que l'hypothèse d'équilibre prise en compte dans l'interprétation suivante.

- **La prévision des captures à l'équilibre** est la troisième manière d'interpréter les résultats obtenus par le modèle de rendement par recrue. C'est la démarche qui s'appuie sur les hypothèses les plus fortes ; en même temps, c'est évidemment celle qui conduit aux résultats les plus puissants, en matière de formulation d'avis de gestion. On suppose ici, non seulement que le modèle est stable, mais aussi que le recrutement lui-même est l'objet d'un processus stationnaire. On s'appuie donc sur une hypothèse dite de recrutement équilibré, c'est-à-dire de recrutement prévisible. L'expérience conduit généralement à considérer que cette hypothèse d'un recrutement équilibré, est réaliste pour certaines espèces ou certains stocks, qualifiés alors de ressources stables. A l'inverse, elle apparaît fantaisiste pour d'autres espèces, qualifiées alors de ressources instables.

Dans le cas des ressources stables, la combinaison d'un modèle de prédiction du recrutement et d'un modèle de rendement par recrue conduit à une prévision des captures, en fonction des caractéristiques de l'exploitation. On dispose alors d'un outil de simulation qui permet d'évaluer l'impact sur les débarquements et sur le stock, de tel ou tel changement des caractéristiques de l'exploitation (que ce changement soit le résultat de mesures volontaristes de régulation de la pêche, ou qu'il

découle d'une dynamique propre au système). La prévision peut ici être prolongée sans difficultés conceptuelles majeures par l'approche multispécifique de la dynamique des stocks ou par la modélisation bio-économique du système pêche.

# 4. LES MODÈLES DE DYNAMIQUE DES POPULATIONS : CONTRIBUTION AUX APPROCHES GLOBALISANTES ET SYSTÉMIQUES DU COMPLEXE

## 4.1- De la modélisation de relations simples à l'approche globalisante de la complexité.

Le modèle de rendement par recrue est un exemple, qui permet de montrer en quoi l'analyse d'une partie de la complexité peut être pertinente pour formuler des avis de gestion. Mais ce modèle a un autre intérêt : il permet de comprendre comment cette étude d'une partie de la complexité conduit, dans certains cas, à un schéma global qui est une représentation simplifiée du système. Ici aussi, il convient de considérer différents cas.

- **Dans le cas des ressources instables**, l'abondance et la structure démographique du stock dépendent plus des variations du recrutement que du régime d'exploitation appliqué à la phase recrutée. Autrement dit, le modèle de rendement par recrue ne rend compte que d'une partie faible, voire totalement marginale de la dynamique du stock. C'est par exemple ce que l'on observe pour de nombreux stocks de Clupeïdés (sardines, anchois...). Le cas le plus célèbre et le frappant en est sans doute l'anchois du Pérou, première production halieutique mondiale à la fin des années soixante (10 millions de tonnes, soit environ 10 % du total mondial !), et dont la production s'est durablement effondrée à partir de 1972, parce que le recrutement s'est alors effondré.

Il faut dans de tels cas admettre l'idée suivante : les méthodes usuelles de modélisation des stocks halieutiques ne permettent pas de comprendre à elles seules la dynamique des res-

sources ; à plus forte raison, elles apparaissent inadaptées en tant qu'approche globalisante du système pêche.

D'un point de vue appliqué, on doit noter que ce n'est pas le modèle qui est en cause, mais son "opérationnalité". On peut même considérer que le recrutement étant ici indépendant de l'exploitation, le modèle de rendement par recrue contient potentiellement toute l'information existante, quant aux relations éventuelles entre l'activité des flottilles et la ressource naturelle. Le "diagnostic du présent", évoqué plus haut, reste donc parfaitement valide. En revanche, son degré de pertinence pour le gestionnaire est faible, parce que l'évolution du système dépend de déterminants autres, sur lesquels il n'a pas de prise réelle. La gestion des stocks tend ici à n'être que d'un intérêt marginal pour la gestion du système pêche. Celle-ci doit plus se préoccuper de risque, d'incertitude, d'adaptabilité, de diversité (...) que de l'utilisation optimale d'un recrutement imprévisible.

- **Dans le cas des ressources stables**, le régime d'exploitation tend à devenir le déterminant essentiel de la dynamique du stock et des captures. C'est par exemple ce que l'on observe dans le cas des Thonidés ou de nombreux Gadidés (lieux, morues, merlans...). Le modèle de rendement par recrue, combiné à un modèle de recrutement (recrutement constant ou relation stock-recrutement) conduit alors à une représentation de la dynamique de la ressource naturelle. En outre, on peut raisonnablement admettre que les changements majeurs dans l'abondance des stocks et des débarquements ont généralement des conséquences importantes sur l'évolution des flottilles et des filières de production. Plus ceci est vrai, plus on tend vers une situation dans laquelle les modèles de dynamique des populations halieutiques conduisent à une vision globalisante du système pêche dans son ensemble.

- L'opposition entre ressources stables et instables est commode mais simplificatrice. Les stocks exploités présentent naturellement un continuum de situations quant à la variabilité temporelle de leur recrutement. Mais surtout, le "statut" d'un stock donné dépend de son niveau d'exploitation. Une espèce très instable produira un recrutement nul, et parfaitement stable, si on parvient à capturer tous ses géniteurs avant reproduction ! Lorsque l'exploitation s'intensifie, on passe ainsi d'une situation dans laquelle le processus de recrutement

dépend de l'environnement biotique ou abiotique (selon des mécanismes mal ou non connus), à une situation dans laquelle il dépend de l'exploitation et peut être modélisé par un système d'équations simples. On passe d'une situation dans laquelle le volume des captures peut n'être qu'un élément parmi d'autre de la dynamique du système, à une situation dans laquelle la raréfaction des ressources peut conduire à une chute drastique des débarquements ; la production en tonnage devient alors le facteur limitant de tout le système pêche.

Autrement dit, la plus ou moins grande capacité des modèles usuels à constituer une simplification acceptable de la complexité dépend finalement d'un degré d'instabilité de la ressource et de l'intensité de l'exploitation halieutique. C'est d'ailleurs une évidence : plus le processus d'exploitation tend à être dominant, plus les autres processus peuvent être négligés. On retrouve ici le "schéma opérationnel pour l'action" évoquée dans la première partie de ce document. Ce schéma est validé lorsque l'exploitation est suffisamment intense, c'est à dire lorsque les processus d'exploitation "l'emportent" sur les processus de variabilité naturelle.

## 4.3- De l'approche globalisante à la gestion du système

Les méthodes usuelles de la dynamique des populations sont ainsi pertinentes comme méthodes de représentation synthétique du complexe, et comme outil d'aide à la gestion, lorsque deux conditions sont remplies. La première est que le volume des débarquements soit un déterminant significatif de la dynamique des pêcheries. La seconde, est que l'exploitation soit un déterminant significatif de l'abondance du stock.

On retrouve ici les deux premières "idées simples", citées en début d'article. Le raisonnement dans lequel elles s'inscrivent est en revanche fondamentalement différent. Il ne s'agit plus d'hypothèses qui sous-tendent la démarche et qui sont supposées vérifiées, généralement par le simple bon sens commun. Il s'agit de conditions d'application et de pertinences des méthodes. Juger du caractère plus ou moins vérifié de ces conditions, revient à hiérarchiser les processus pris en compte.

On notera que la première ("les débarquements déterminants de la dynamique") dépend d'une analyse qui relève sans doute plus de l'économie et des Sciences Sociales que des Sciences Biologiques. La seconde, par contre, est directement abordée par les méthodes d'évaluation du stock.

Dans la pratique, que faut-il en retenir en matière d'aide à la gestion des pêches ? Essentiellement deux choses. Premièrement, dans un schéma d'intensification de l'exploitation, on est toujours quelque part entre une situation d'impact nul sur la ressource et une situation d'extinction du stock par sur-pêche. Ceci signifie que lorsqu'on essaie de réguler l'ensemble du système pêche, les modèles usuels de dynamique des populations ont un intérêt qui se situe toujours... quelque part entre l'inutile et le suffisant. Vouloir se passer de l'évaluation, comme vouloir s'en contenter serait absurde ; la formulation d'avis de gestion doit nécessairement découler d'une approche pluridisciplinaire, au sein de laquelle la dynamique des populations tient une place importante.

Deuxièmement, il appartient aux dynamiciens des populations non seulement d'évaluer et de formuler les diagnostics et les pronostics auxquels ils peuvent aboutir, mais de s'interroger également sur la hiérarchie des processus, c'est-à-dire sur l'importance des déterminants "biologiques" dans la dynamique d'ensemble du système halieutique. On aborde là le troisième type d'intérêt des méthodes de modélisation des stocks, qui est de contribuer à l'analyse du complexe, c'est-à-dire à l'approche systématique.

## 4.3- Des relations simples à l'approche systémique du complexe

Dés lors qu'on admet que l'exploitation n'est qu'un élément parmi d'autres de la dynamique des ressources, dés lors qu'on admet également que cette dynamique des ressources n'est que l'un des déterminants de la dynamique du système pêche, l'étude de ces différents déterminants et de leur importance respective devient un objet de recherche proprement dit. Presque par définition, l'approche doit ici aussi être pluridisciplinaire. En ce qui les concerne, les dynamiciens des populations ont vocation à caractériser et quantifier les déterminants d'ordre biologique.

En règle générale, nul ne conteste que l'analyse de ces déterminants soit d'une grande importance. Il suffit pour s'en convaincre de considérer que l'activité de pêche, d'une part, consiste à capturer du "vivant", et d'autre part, qu'elle est bien souvent la première cause de mortalité de la ressource naturelle. Aussi bien l'analyse économique des filières de production, que l'analyse écologique des écosystèmes productifs ne peuvent par exemple faire abstraction de ces éléments. L'étude des relations entre les caractéristiques de l'exploitation et les captures qu'on en attend est ainsi un élément indispensable de compréhension de la dynamique d'ensemble du système.

On notera que cette démarche reste relativement nouvelle. A l'heure actuelle, les méthodes usuelles de modélisation sont presque exclusivement utilisées en vue du diagnostic et de la recommandation de gestion. Pour l'essentiel, c'est l'usage qui les maintient dans une fonction d'expertise. Leurs potentialités comme outil d'analyse du système complexe sont par contre assez nettement sous-employées.

Un exemple frappant en est donné avec les méthodes dites d'analyse de cohortes. Ces méthodes sont couramment mises en oeuvre comme première étape dans les procédures d'évaluation des stocks. Elles conduisent à une estimation des effectifs du stock et des mortalités dues à la pêche, par année et par âge. Les résultats se rapportant aux années récentes sont utilisés pour le diagnostic et pour la précision. En revanche, les résultats des années les plus anciennes sont rarement analysés. On montre pourtant aisément qu'ils sont, sous certaines conditions, d'une très grande fiabilité. Ils conduisent à un modèle explicatif extrêmement puissant, qui permet d'analyser l'histoire passée du stock et de son exploitation. Aucune difficulté théorique ne s'oppose, en outre, à ce que cette démarche soit menée de manière pluri-spécifique. Les méthodes de modélisation de la dynamique des stocks constituent ainsi une voie d'approche pertinente, pour contribuer à l'étude systématique des exploitations halieutiques.

# CONCLUSION

L'acceptation du caractère intrinsèquement complexe de la dynamique des systèmes halieutiques doit logiquement conduire à repenser tout à la fois "la gestion" et la "recherche". Proposer de nouveaux schémas pour l'une comme pour l'autre dépasse le propos de cet article, ne serait-ce que parce qu'un des enseignements essentiels de ce qui précède est que l'approche doit nécessairement être pluridisciplinaire. Dans ce cadre, on a surtout cherché à clarifier ici le rôle et la place de la dynamique des populations. L'époque où ce champ disciplinaire pouvait être considéré ou ressenti comme relevant d'une "science magique" est désormais révolue. A l'inverse, il serait dommageable qu'un mouvement de "retour du balancier" conduise à en nier ou à en minimiser l'intérêt scientifique fondamental et appliqué. Cette double affirmation ne découle pas de la recherche consensuelle d'une position médiane, mais de l'analyse.

Nous avons d'abord vu que la dynamique des populations halieutiques relève fondamentalement d'une approche qui consiste à étudier une partie du système pêche (e.g. les relations entre le régime d'exploitation et les captures qu'on peut en attendre). Pour cela, la modélisation s'appuie sur quelques relations simples, qui existent au sein de la complexité. L'exemple du modèle de rendement par recrue illustre bien l'intérêt de cette démarche, qui conduit à établir des diagnostics et à formuler des avis pertinents en matière d'aide à la gestion des pêches.

La complexité remet ici en cause le caractère suffisant de l'approche dite "biologique". Ceci est vrai dans la formulation des diagnostics ou des pronostics ; ceci est sans doute encore plus vrai lorsqu'on cherche à identifier des outils efficaces, pour influer sur la dynamique du système pêche. En revanche, la complexité ne remet pas en cause le caractère nécessaire de l'approche "biologique". Sans doute plus important encore : elle ne condamne en rien les méthodes usuelles de modélisation à une simple fonction d'expertise. Nous avons vu dans quelles conditions ces méthodes tendent à devenir, plus qu'un simple outil de quantification de quelques relations simples, un moyen de représentation simplifié du complexe, s'appuyant sur une hiérarchisation des processus. Nous avons surtout souligné l'intérêt des méthodes de modélisation de la dynamique des

stocks, comme outil pertinent dans l'analyse de la dynamique des systèmes pêche. En ce sens, il y a là un champ disciplinaire qui devrait à l'avenir s'avérer source de recherches fécondes.

## ÉLÉMENTS BIBLIOGRAPHIQUES


Allen P.M. et J.M. McGlade, 1987 - Modelling complex human systems : a fisheries example. European J. of operations res., 30, 147-167.

Bousquet F., 1994 - Des milieux, des poissons, des hommes : étude par simulations multi-agents. Le cas de la pêche dans le Delta Central du Niger. Thèse Doctorat Université Lyon I, 450 p.

Brêthes J.C. et R.N. O'Boyle (éd.), 1990 - Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques. Université du Québec à Rimouski, Vol. I et II, 931 p.

Brêthes J.C. et A. Fontana (éd.), 1992 - Recherches interdisciplinaires et gestion des pêcheries. Projet CIEO-890276, Centre international d'exploitation des océans, Halifax (Nouvelle-Ecosse, Canada), 228 p.

Cury P. et C. Roy, 1991 - Pêcheries Ouest-Africaines : variabilité, instabilité et changement. Orstom Editions, Paris, 525 p.

Durand J.R., J. Lemoalle et J. Weber (éd.), 1991 - La recherche face à la pêche artisanale. Symp. int. Orstom-Ifremer. Editions Orstom, Paris, 1070 p.

Gascuel D., J.L. Durand et A. Fonteneau (éd.), à paraître - Les recherches françaises en évaluation quantitative et modélisation des ressources et des systèmes halieutiques. Actes du Premier Forum Halieutique, Rennes Juillet 1993. Orstom Editions, Collec. Colloques et Séminaires, 415 p.

Hilborn R., 1987 - Living with uncertainty in resource management. N. Am. J. Fish. Manage, 7, 1-5.

Hilborn R. and C.J. Walter, 1992 - Quantitative fisheries stock assessment : choice, dynamics and uncertainty. Chapman et hall, Londre, 570 p.

Laurec A. et J.C. Le Guen, 1981 - Dynamique des populations marines exploitées. Tome I : concepts et modèles. Rapp. Sci. et Tech. CNEXO, 45, 117 p.

Lebreton D. et B. Asselain (éds), 1993 - Biométrie et environnement. Masson, Paris, 332 p.

May R.M., J.R. Beddington, J.W. Horwood and J.G. Shepherd, 1978 - Exploiting natural populations in an uncertain world. Math. Biosc. 42, 219-252.

Nicolis G. et I. Prigogine, 1992 - A la rencontre du complexe. Philosophie d'aujourd'hui, PUF, Paris, 392 p.

Quensière J., 1993 - De la modélisation halieutique à la gestion systémique des pêches. Nature, Sciences et Sociétés, 1, 211-220.

Troadec J.P. (éd.), 1989 - L'homme et les ressources halieutiques : un essai sur l'usage d'une ressource renouvelable. Edition Ifremer, Brest, 817 p.