

Apport de l'approche "système complexe" dans la conduite des exploitations halieutiques: recherches sur le développement durable du secteur des pêches en république de Guinée.

Jean Le Fur¹

Introduction : le développement durable de la pêche

"We are faced with having to make critical choices about a system whose workings are almost a total mystery to us" (Casti, 1997)

Une branche importante de la recherche halieutique vise en tâche de fond à répondre au problème de la pérennité des pêches, que ce soit d'un point de vue social, naturel ou les deux. De nombreux ténors de la recherche halieutique (e.g., Ludwig et al., 1993, Rosenberg et al., 1993, Grainger et Garcia 1996, Botsford et al., 1997, Costanza et al., 1998, Pitcher et Pauly, 1998) ont tenté d'identifier les raisons expliquant l'incompatibilité concrète entre dynamique naturelle et pression anthropique, en proposant en général des solutions adaptées à leur analyse. Malgré certaines tendances communes (problème de l'accès libre, modalités de fonctionnement de la gestion, réaction face à l'incertitude) les problèmes à surmonter et les points de vue apparaissent d'une grande diversité et on ne peut vraiment dégager un consensus sur la façon de les aborder².

Les analyses réalisées et les jeux de solutions qui sont actuellement proposés sont le plus souvent fondés sur une analyse globale (i.e., non distribuée, peu spatialisée) visant un fonctionnement optimal des domaines halieutiques explorés. Ils ne prennent pas en compte la complexité comme une propriété des systèmes avec laquelle il faut compter mais plutôt comme une source de variabilité dont il faut pouvoir s'affranchir.

Dans cette perspective, de nombreuses recherches menées en parallèle, dans et en dehors du domaine des pêches, ont conduit à une nouvelle appréhension des problèmes, fondées sur l'acceptation de la complexité des systèmes à aborder et le développement de méthodes pour ce faire.

¹ IRD (ex-Orstom), BP1984, Conakry, rép. Guinée / tel: (224) 40.46.35 / fax (224) 40.91.07 / email: lefur@ird.fr / <http://www.mpl.ird.fr/~lefur>

² Parmi les principaux problèmes évoqués pour expliquer la difficulté de parvenir un consensus, se trouvent par exemple les problèmes liés à la diversité dans la perception du problème par les acteurs qu'ils soient opérateurs, gestionnaires, chercheurs. Pour ce qui concerne la recherche par exemple, chaque discipline, groupe de disciplines ou courant disciplinaire utilise une approche et un discours différents puis propose une solution différente liée à sa façon d'aborder les problèmes. Et ceci est aussi vrai pour le domaine particulier de l'halieutique (Charles, 1995) que dans la science de façon plus générale (Butler, 1998).

On propose dans cette communication d'évoquer en quels termes l'approche « système complexe » pourrait apporter un nouvel éclairage au problème du développement durable des pêches. Après une présentation de quelques concepts clés, des pistes de réflexion sont proposées. L'application de cette approche à un projet de recherche en cours de développement est enfin présentée comme exemple.

Aperçu de l'approche « système complexe » (SC)

Depuis sa formalisation dans les années 50, la notion de système a fait l'objet de recherches qui se sont poursuivies dans de nombreux domaines dans et hors la science. Peu à peu, de nouveaux concepts et approches émergeaient. S'est ainsi construit petit à petit une connaissance des systèmes qui se décrivent désormais en termes d'organisation, de fonctionnement, d'évolution ou de propriétés. A partir principalement des travaux du MIT³ dans les années 60 (De Rosnay, 1995) est apparue la notion de complexité avec la découverte d'un cortège de nouveaux mécanismes, de nouvelles structures ou propriétés (voir tableau 1) dont certains apparaissent essentiels ou structurants pour la compréhension des systèmes. L'approche Système complexe fait désormais l'objet de nombreuses utilisations ainsi que d'une littérature soutenue dans le domaine scientifique tout au moins.

constituants	mécanismes	organisation	fonctionnement	dynamique	propriétés
OBJETS	INTERACTION:	FORMES	ACTIVITÉ	HOMÉOSTASIE	DIVERSITÉ
AGENTS	COMMUNICATION	GROUPE	CO-VIABILITÉ	ÉTATS	REDONDANCE
MATIERES	(INFORMATION)	RÉSEAUX	NÉGUENTROPIE	TRANSITIONS	INTERDÉPENDANCE
CODES	TRANSMISSION	HÉRARCHIES	CONTINGENCE	CRISES	ADAPTABILITÉ
	COMPLEXATION	NIVEAUX	ÉVOLUTION	PHASES	RÉSILIENCE (INERTIE)
	RÉTROACTION	(ÉCHELLES)	AUTO-ORGANISATION	HISTOIRE	VIABILITÉ
	ÉNACTION	CYCLES	AUTO-POÏÈSE	CO-ÉVOLUTION	TONUS
	TRANSPORT	ENVIRONNEMENTS	CIRCULATION	MORPHOGENÈSE	
	RÉGULATION	INTERFACES	CONSTRUCTION	BIFURCATION	
	AMPLIFICATION	FRACTALES	ADAPTATION	CATASTROPHE	
	APPRENTISSAGE			TRANSCIENT	
	REPRODUCTION			FRONTIÈRE DU CHAOS	
	ÉMERGENCE				

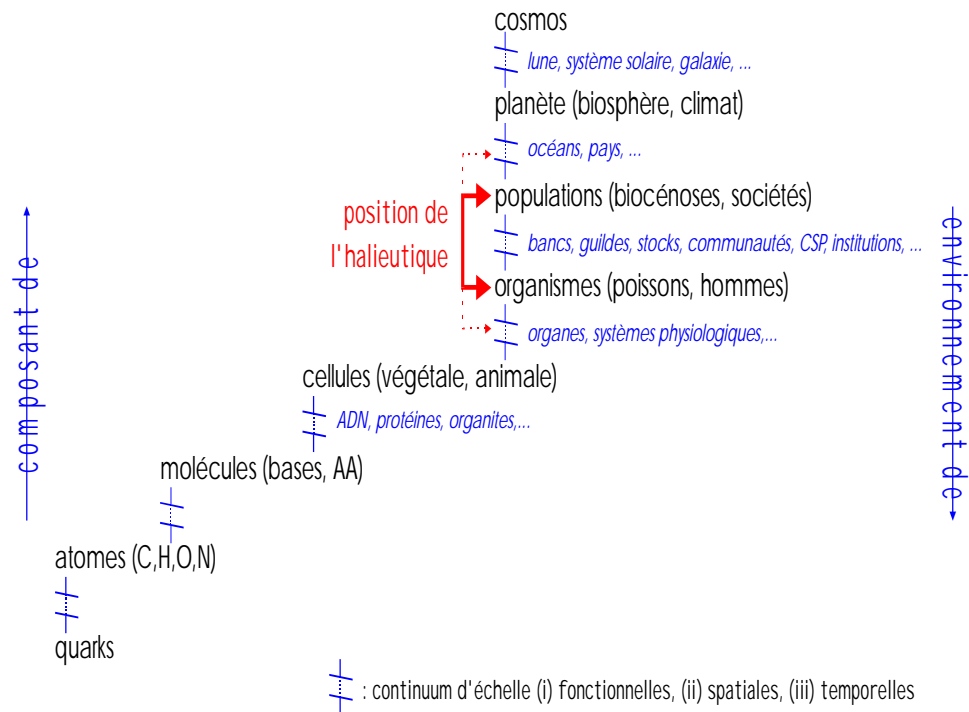
Tableau 1 : essai de synthèse des concepts liés à la perception et à la compréhension des systèmes complexes.

Suivant cette approche, de nombreuses recherches en halieutique ont ainsi permis de caractériser la structure, l'organisation, le mode de fonctionnement particulier de divers systèmes complexes participant de la pêche. Ces travaux ont de même conduit à l'identification de propriétés typiquement systémiques telles que l'auto organisation, la diversité fonctionnelle, les hiérarchies d'échelle, l'évolution, l'émergence, etc. Parmi les caractéristiques « utiles » des systèmes complexes se situent :

- **l'émergence**, que l'on peut grossièrement traduire par l'apparition imprévisible d'un phénomène de masse lié à des sommes d'interactions entre composantes d'un système. Les mises en évidence de l'émergence ne se comptent plus dans tous les domaines de la connaissance ; biologie (e.g., Bagley et Farmer, 1991, Ivan, 1993), éthologie (e.g., Drogoul et Ferber, 1993), écologie (e.g., Kawata et Toquenaga, 1994, Bascompte et Solé, 1995), économie (e.g., Vriend, 1995), sociologie (e.g., Epstein et Axtell, 1996, Macey, 1998), halieutique (e.g., Allen et McGlade, 1984, Allen, 1992), etc. Un des principaux effets induits de l'émergence est la constitution d'un continuum de hiérarchies et d'échelles du plus local au plus global (voir exemple sur la [Figure 1](#)). L'organisation des systèmes a été décrite en termes de hiérarchies et d'échelles notamment dans le domaine des écosystèmes (e.g., Auger et al., 1992, Perry, 1995, Frontier, 1998) ou des marchés financiers (e.g., Lux et Marchesi, 1999).

³ Massachusetts Institute of Technology.

Figure 1 l'émergence crée un continuum d'échelles fonctionnelles, spatiales, temporelles du niveau le plus local au plus global.



Le passage d'une échelle à une autre se fait par émergences successives: les niveaux supérieurs sont construits par les niveaux inférieurs. Ils constituent alors des environnements pour les niveaux inférieurs avec lesquels ils entrent en interaction (une seule branche est ici tracée alors que le continuum bifurque en de nombreux points. Chacun des éléments ou ensemble d'éléments présenté peut-être abordé comme un système (mis à part le niveau « quark » qui correspond au niveau le plus élémentaire, dans l'état actuel de la connaissance). Il en découle que pratiquement tout élément d'un système est lui-même un système.

- L'auto adaptation constitue une des propriétés principales, sinon une raison d'être (Maturana et Varela, 1992⁴) des systèmes complexes. Elle traduit la capacité qu'a un système d'organiser ses interactions internes et externes par le jeu de dynamiques qui lui sont propres et qui s'expriment sur une multitude d'échelles émergentes (Perry, 1995). Cette organisation est souvent perçue comme inexorable en direction de situations stables, homéostatiques, particulières et exprimées par des notions telles que la frontière du chaos (Langton, 1990, Packard, 1988), les états critiques auto-organisés (Bak et Chen, 1991) ou les attracteurs étranges (e.g., Frontier, 1998, Pavé, 1998). Les propriétés d'auto organisation/adaptation des SC ont été étudiées dans les domaines écologiques, économiques (Vriend, 1995). L'auto adaptation se conjugue enfin en auto-apprentissage, auto-catalyse (De Rosnay, 1995), auto-régulation (Foerster, 1962, Allen et Mc-Glade, 1987), auto-poïèse (voir note 4), etc..

⁴ Un système complexe peut être caractérisé par un objectif (notion de téléonomie). Cette idée, subjective, s'avère très opératoire car elle conduit à la propriété d'auto-poïèse: un système auto-poïétique a pour seul objectif sa propre durabilité (ou maintenance dans le temps, ou survie, ou existence, ...). Cette propriété a été mise en évidence sur les organismes mono-cellulaires. L'auto-poïèse constitue un des moteurs principaux et souvent, une fonction vitale, des systèmes vivants.

- la diversité et sa relation avec la complexité : la diversité se rencontre à tout niveau, toute échelle, dans chaque recoin des systèmes complexes. la composition des diversités retrouvées à chaque niveau produit une explosion combinatoire de configurations possibles pour un système donné⁵.
La diversité et ses implications ont fait l'objet de développements intenses, particulièrement accentués dans les sciences de la vie depuis le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992. Un courant de recherche s'est créé sur la relation entre diversité et stabilité dans les écosystèmes (e.g., Bascombe et Solé, 1995, Hogg et al., 1989, Lauga, 1996, Tilman, 1996). Il apparaît d'abord que toute l'organisation et la dynamique des systèmes est impliquée dans cette relation ; il semble à présent que la diversité favorise la stabilité jusqu'à certaines limites à partir de laquelle la corrélation s'inverse (Frontier, 1998). Il y aurait alors deux forces antagonistes dans les écosystèmes ; l'une tendant à diversifier ; l'autre à homogénéiser (Smith, 1996, suivant May, 1973 !).
- les environnements : l'émergence, l'auto adaptation, la diversité, apparaissent en fait comme diverses traductions de l'interaction incessante et de l'interdépendance multiforme qui existent entre les systèmes et leur environnement propre.
Les systèmes et les environnements sont multiples, ils s'enchevêtrent et se transforment mutuellement, l'un pouvant prendre la place de l'autre et vice versa. La distinction entre systèmes et environnement est tout à fait relative, liée au point de vue retenu. Sa prise en compte suscite aussi de nouvelles voies pour comprendre les systèmes et leur évolution.

Exploiter les propriétés systémiques de la pêche

Une des caractéristiques de l'approche système complexe est son universalité : une propriété donnée fait l'objet d'identification, d'applications et de recherches dans des domaines très diversifiés de la connaissance. Dans chaque domaine, dont naturellement l'halieutique, l'ensemble des connaissances obtenues sur les SC peut être adapté⁶ aux autres.

On peut alors envisager de conduire un secteur des pêches en tant que système complexe. Cela peut consister à rechercher les diverses propriétés systémiques qu'il exhibe, les reconnaître puis les exploiter pour piloter le domaine en respectant sa dynamique propre. En "décidant" d'aborder une exploitation halieutique comme un système complexe, s'ouvrent de nouvelles possibilités (ou tout au moins des possibilités revisitées) pour comprendre, puis conduire ces exploitations.

L'approche qui peut être proposée pour aborder ainsi les secteurs halieutiques est a priori elle-même de nature systémique, consistant par exemple à :

- i. viser à améliorer le fonctionnement des SC (fluidité des mécanismes, qualité des interactions) plutôt que leur état (niveau de certains indicateurs quantitatifs),
- ii. multiplier et accumuler les voies de recherche et de modification plutôt que de chercher une solution globale et générique.

On peut, à titre exploratoire, citer quelques pistes possibles pour aborder de façon systémique les secteurs halieutiques :

⁵ "Tant l'histoire de la vie (mutation, sélection des mieux adaptés) que le développement de l'individu vivant auraient des principes simples et constitueraient des histoires effroyablement compliquées" (Stengers, 1987)

⁶ L'analogie constitue un outil puissant (e.g., Hofstadter, 1995) et dangereux de l'approche systémique ; elle permet la transdisciplinarité, en d'autres termes, le passage de connaissances entre des domaines très différents. Le danger qu'elle présente vient de la difficulté à déterminer à partir de quel seuil l'analogie entre deux domaines n'est plus pertinente.

- Utiliser les hiérarchies d'échelle : cela peut par exemple consister à jouer simultanément sur (i) les composants pour améliorer le processus émergent étudié (effort, niveau des stocks, gestion) et inversement, (ii) utiliser les niveaux supérieurs (i.e., améliorer les environnements) pour améliorer le fonctionnement en interaction des composants. Une telle approche, dite de « scale-matching », a été proposée par Costanza et al. (1998) pour ce qui concerne les océans dans leur ensemble. Elle repose notamment sur la distribution du pouvoir de décision (gouvernance) sur toute l'échelle allant des acteurs globaux aux acteurs locaux.
- Rechercher les points d'amplification comme clés pour le pilotage des systèmes: les systèmes ont la capacité de réaliser des phénomènes de rétroaction positive qui conduisent à l'amplification des phénomènes. Cette amplification peut être perçue comme négative (explosion, mort, cercles vicieux) mais aussi positive (cercles vertueux, changements d'état⁷). Du fait de ce phénomène d'amplification, il est possible de créer de grands effets à partir d'une simple amorce, la recherche des cercles vicieux et leur transformation en cercles vertueux (inversion des modalités de rétroaction) peut constituer une voie de recherche pour l'amélioration des systèmes pêche.
- Faire confiance aux capacités d'auto-adaptation des SC : l'approche présentée ici, et qu'il est nécessaire de préciser, consiste à fournir au système concerné l'environnement le plus favorable à son « épanouissement ». On favorise ainsi l'auto-production de solution par le SC, en interaction avec l'environnement qui lui aura été construit. La modification de l'environnement peut aussi bien passer par de multiples actions locales que par des changements globaux, conformément aux hiérarchies d'échelles présentées par le SC particulier qui est considéré (Cf. exemple section suivante)
- Considérer l'interdépendance entre tous les systèmes naturels et sociaux en présence ; concevoir leur co-évolution, puis rechercher et exploiter les possibilités d'action indirecte (agir sur un composant pour modifier un autre).
- Accepter la combinatoire des diversités et l'indécidabilité structurelle des SC qui en découle comme une donnée essentielle du problème. Ceci implique un changement d'attitude dans lequel la variabilité n'est plus considérée comme un obstacle à la gestion, mais comme une propriété à exploiter. On montre par exemple (Smith, 1996) que les états qui disposent d'une plus grande diversité de ressources sont moins soumis aux pressions du marché international ;
- Favoriser la diversité comme source d'émergence de solution ; l'important étant alors (i) d'assurer les interactions propices à l'émergence de solutions positives vis à vis du problème posé, (ii) veiller à ne pas dépasser le seuil au delà duquel la diversité devient néfaste au système.
- Enfin, considérer qu'un SC est une entité qui se construit dans le temps (e.g., Taylor, 1989, Axelrod, 1997); les événements passés étant signifiants pour les états présents (cette propriété se traduit par l'irréversibilité des dynamiques)⁸. Toute modification d'un SC devrait donc prendre en compte l'intégrité de cette construction. En d'autres termes, il faut rester attentif à ne pas défaire malencontreusement des processus ou des organisations qui sont parfois le

⁷ Le changement d'état conduit à la disparition du système et à sa re-formation dans une configuration différente. Les modalités de passage sont multiples ; le changement d'un SC en un autre (d'un attracteur à un autre) n'est en général pas progressif ; on a ainsi décrit des transitions de phase, des effets de seuil, des situations de crise, des catastrophes ou des bifurcations. Dans le cas halieutique, la situation actuelle des pêches est considérée par beaucoup comme catastrophique et sans issue. Le passage à une autre attitude vis à vis des pêches pourrait conduire à un changement d'état éventuellement salutaire.

⁸ On peut à l'extrême considérer qu'il y a équivalence entre système complexe et construction historique.

résultat d'une longue élaboration (des systèmes perçus comme fonctionnant mal peuvent traduire malgré tout la solution la plus adaptée à un environnement donné).

Application à un projet de recherche sur le développement des pêches en Guinée

Un projet de recherche est en cours de développement qui vise à mettre ces principes en pratique. Il s'agit d'un projet de recherche-action, c'est à dire qui vise à la modification du système qu'il étudie⁹. Le projet vise à la construction d'un environnement informatif commun à tous les acteurs (chercheurs, gestionnaires, opérateurs, investisseurs), afin (i) de constituer une plate-forme commune pour la discussion entre acteurs, (ii) informer les acteurs des connaissances disponibles sur le secteur afin qu'ils puissent agir à leur niveau (prise de décision, pratique quotidienne) en toute connaissance de cause, dans l'état actuel des connaissances.

Le système à appréhender est l'ensemble du secteur halieutique guinéen, incluant actuellement la ressource, les opérateurs (pêcheurs, mareyeurs, entreprises, etc.) la gestion, la recherche. Selon la problématique, le projet doit (i) appréhender un SC et (ii) considérer qu'il est lui-même un des éléments de ce SC. Le système complexe à considérer devient ainsi une combinaison des composants du secteur, des dimensions selon lesquelles on peut les appréhender¹⁰, des acteurs impliqués dans le projet et des opérations d'ingénierie ou de recherche qu'ils mettent en œuvre.

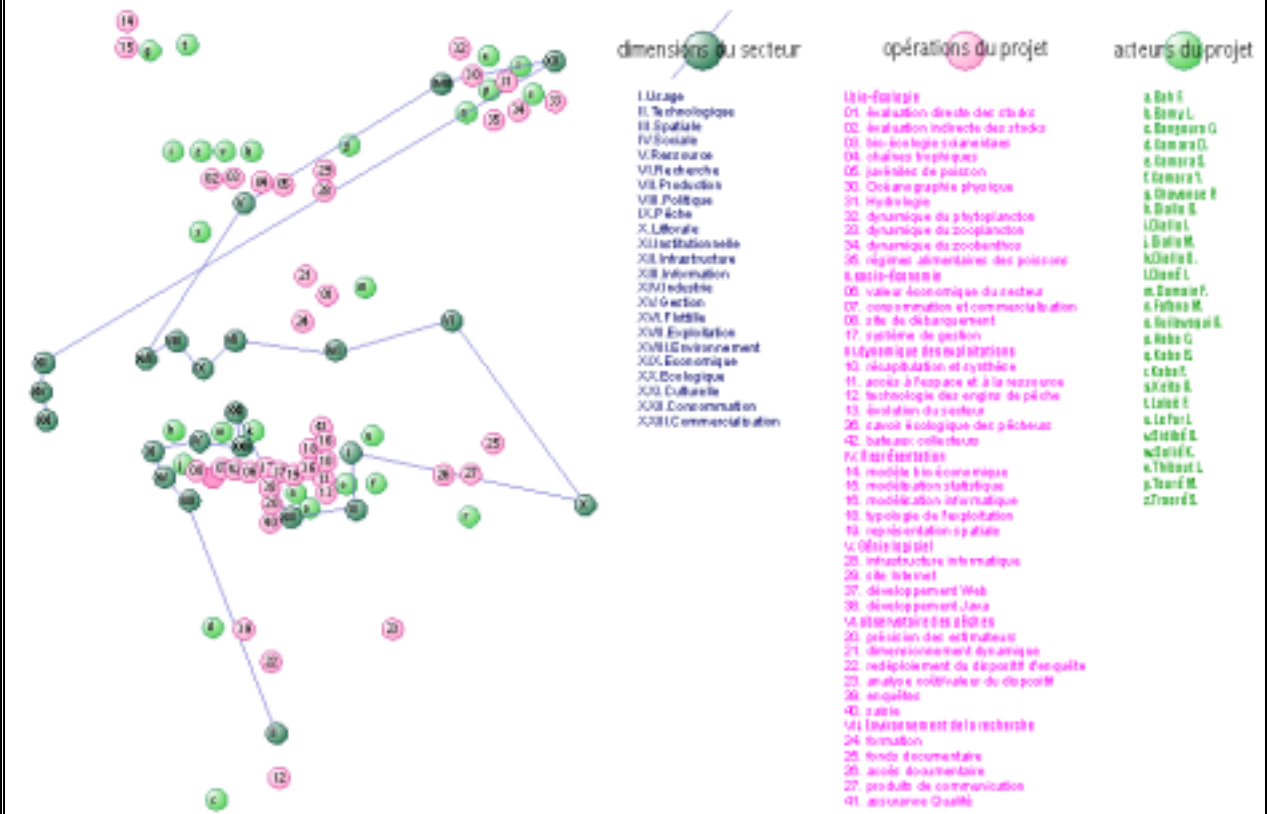
Le projet en lui-même est construit en postulant qu'il s'agit d'un système complexe à piloter et on lui applique les principes de gestion systémique tels que ceux présentés à la section précédente. Cette approche se traduit principalement par une diversification volontaire des opérations : dans la mesure où l'on ne sait pas a priori quels sont les domaines privilégiés où se trouvent les solutions au problème général de la durabilité des pêches guinéennes ; on diversifie au maximum les aspects du secteur considéré. Le fondement du projet devient alors « Développer une vision intégrée du fonctionnement du secteur halieutique guinéen pour évaluer sa dynamique et l'effet de mesures de gestion et d'aménagement sur son fonctionnement » (voir Figure 2).

⁹ Ce projet fait l'objet d'un double financement de la part de la coopération française et de la Commission Européenne (projet « pêche écologique en Guinée », convention CE : B7-6200/99-03/DEV/ENV). Son objet principal est l'établissement des modalités (compétences, méthodes, outils) d'un développement durable des pêches guinéennes fondé sur l'usage respectueux des écosystèmes marins.

¹⁰ L'analyse dimensionnelle et la constitution de typologies constituent les fondements de l'approche, la communication de M.Diallo dans ce symposium présente quelques éléments de cette approche pour ce qui concerne le système de gestion des pêches en Guinée.

Figure 2 Entités en interaction dans le projet.

L'organisation spatiale de la figure est arbitraire. Un quatrième type d'entité n'a pas été représenté, il s'agit des objets et groupes d'objets concrets du secteur (engin, bateau, camion, rocher, bâtiment, etc.). Les interactions entre éléments n'ont pas été tracées; il est aisé d'imaginer qu'elles recouvriraient en grande partie la figure.



On définit ainsi, comme des agents semi-autonomes, un ensemble d'opérations susceptibles d'apporter un éclairage utile sur le fonctionnement du système ; on leur fixe le même objectif (dans ce cas, produire de la connaissance et de l'information), puis on se focalise sur la mise en place d'interactions de qualité entre opérations, acteurs, bénéficiaires, etc. On construit l'environnement le plus favorable possible au bon développement de ces opérations (ici ergonomie, méthodologie, outils disponibles, documentation, méthodologie, moyens matériels, etc.) et l'on cherche à entretenir au mieux cet environnement pendant toute la durée du projet.

le pilotage du projet (SC) revient donc à construire un environnement propice à l'émergence de solutions vis à vis du problème de la durabilité simultanée des écosystèmes et de leur exploitation ; des exploitations et de leur écosystème. On fait en quelque sorte un pari sur la construction d'émergences : leur apparition est surveillée, si des émergences sont identifiées, elles sont alors capées, analysées et exploitées positivement. Elles permettent de réorganiser l'environnement de recherche et/ou les opérations de recherche. En s'intéressant simultanément aux opérations et aux émergences, on renforce ainsi les transferts d'échelles haut-bas, bas-haut¹¹.

La diversification fournit aussi un moyen pour gérer la dynamique du projet de façon adaptative : le milieu et le fonctionnement de la société guinéenne étant peu connus, le développement d'un projet de recherche dans un tel contexte est soumis à de nombreuses contingences. En d'autres termes le déroulement du projet est fréquemment contraint par des événements liés à la dynamique d'autres systèmes (social, culturel, administratif, institutionnel, technique) que l'on ne peut anticiper et sur lesquels le projet n'a pas de prise. Inversement, les contingences peuvent aussi constituer des oppor-

¹¹ Dans ce cadre, le problème se pose du nombre minimum d'opérations nécessaires à la production d'émergence.

tunités ; opportunités qu'il est judicieux de saisir. Il est crucial dans ce contexte de renforcer la nature adaptative du projet de recherche. La multiplicité et la diversification volontaires des opérations fournit cette adaptabilité : l'arrêt d'une opération inadaptée au contexte ne compromet pas le projet ou le compromet localement ; le spectre large de définition permet d'intégrer de nouvelles opérations sans remise en cause du fonctionnement. On adapte ainsi progressivement le projet à son environnement, le rendant de plus en plus apte à atteindre les buts qu'on lui a fixé.

Conclusion

Chacun des aspects, mécanisme, processus, propriété, liés à la nature et au fonctionnement d'un système complexe peut être identifié ici ou là au sein d'un secteur halieutique. Plusieurs parmi ces aspects peuvent constituer la clé de la solution à tel ou tel problème rencontré localement dans la pêche. La multiplication des actions positives, diversifiées mais allant toutes vers un même but, en l'occurrence, le développement des pêches, contribue à améliorer l'ensemble des composants et des environnements. L'effet multiplicatif associé aux capacités d'adaptation des systèmes complexes considérés produit un résultat d'ensemble qui est a priori imprévisible (émergence) mais qui peut être conforme à l'objectif fixé.

Cette approche ne préconise pas le laisser-faire mais l'action concertée. Elle implique la prise de risque. Cette approche doit, sur ce point, se combiner à l'approche de précaution qui est actuellement plébiscitée dans les domaines où la variabilité est grande¹².

L'approche « système complexe » reste enfin difficile dans la mesure où la façon dont elle aborde les domaines et leurs problèmes est compliquée à mettre en œuvre (pluridisciplinarité, résultats qualitatifs, multiplication des sources d'incertitude, etc.). La méthodologie semble cependant en train de se construire (voir par exemple Kawata et Toquenaga, 1994, Bascompte et Solé, 1995, Parrot et Kok, 2000).

Si tous les acteurs préoccupés par la durabilité des pêches disposaient d'une façon commune ou partagée d'aborder les problèmes, il serait possible d'articuler toutes les solutions proposées dans une seule formulation. L'effet d'union sur une même problématique pourrait alors faire émerger une solution, commune à tous les systèmes pêche ; c'est un des défis posé par l'approche « système complexe ».

Littérature citée

- Allen P.M. (1992) Modelling evolution and creativity in complex systems. *World Futures*. 1992; 34:105-123.
- Allen P.M. and McGlade J.M. (1984) The fishing industry as a complex system. Mahon R. Towards the inclusion of fishery interactions in management advice. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences*. 1984;
- Allen, P. M. and McGlade, J. M. (1987) Evolutionary Drive: The Effect of Microscopic Diversity, Error Making, and Noise. *Foundations of Physics*. 1987; 17(7):723-738.
- Axelrod, R. (1997) Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences. Obtaining, analysing, and sharing results of computer models. *Complexity*. 1997; 3(2):16-22.
- Bagley, J. R. et J.D. Farmer (1991) Spontaneous Emergence of a metabolism. *Artificial life II, SFI studies in the sciences of complexity*, vol.x, 1991, pp.93-140
- Bak, P and Chen, K. (1991) Les systèmes critiques auto-organisés. *Pour La Science*. 1991 Mar; (161):52-60.
- Bascompte, J. and Solé, R. V. (1995) Rethinking complexity: modelling spatiotemporal dynamics in ecology. *Trends Ecol. Evol.* 1995 Sep; 10(9):361-366.
- Botsford, L. W; Castilla, J. C., and Perterson, C. H. (1997) The management of fisheries and marine ecosystems. *Science*. 1997; 277:509-515.

¹² la gestion des pêches étant un système complexe, les travaux relevant de la frontière du chaos suggéreraient même de préconiser 95-99% de précaution et 1-5% de risque...

- Burtler, D. (1998) Interdisciplinary research 'being stifled'. *Nature*. 1998; 396:202.
- Casti, J.L. (1997) Can you trust it: on the reliability of computer simulation and the validity of models. *Complexity*. 1997; 8-11.
- Charles, A. T. (1995) Fishery science: the study of fishery systems. *Aquatic Living Resources*. 1995; 8:233-239.
- Costanza, R. and others (1998). Principles for sustainable governance of the oceans. *Science*. 1998 Jul 10; 281:198-199.
- De Rosnay J. (1995) *L'homme symbiotique. Regards sur le troisième millénaire*. Paris: Seuil; 1995.
- Drogoul, A. et J. Ferber (1993) Multi-agent simulation as a tool for modeling societies: application to social differentiation in ant colonies. *Laforia, T 46, université Paris VI, vol. 3, pp.1-17*.
- Epstein, J and Axtell, R. (1996) *Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up*. Cambridge, MA: MIT Press; 1996.
- Foerster, H. von (ed.) (1962) *Principles of self-organization*. New York, Pergamon Press, 1962.
- Frontier, S. (1998) *Ecosystèmes: structure et fonctionnement*. Dunod, 1998, 429p.
- Grainger, R. J. R. and Garcia, S. M. FAO (1996). *Chronicles of marine fishery landings (1950-1994): Trend analysis and fisheries potential*. FAO; 1996 - FAO Fisheries Technical Papers; 359.
- Hofstadter, D. (1995) *Fluid concepts and creative analogies*. Harper & Collins, Basic books, 1995, 518p.
- Hogg, T.; Huberman, B. A., and Mc Glade, J. M. (1989) The Stability of ecosystems. *Proc. R. Soc. Lond.* 1989; (B237):43-51.
- Ivan, M. H. (1993) Artificial thought and emergent mind. 13th international joint conference on artificial intelligence, vol. 1, Chambéry, France, 28 august-3 septembre 1993, pp.758-791
- Kawata, M. et Toquenaga, Y (1994) From artificial individuals to global patterns. *Trends Ecol. Evol.* 1994; 9(11):417-421.
- Langton, C. (1990) Computation at the edge of chaos: phase transition and emergent computation. *Physica D*. 1990; 42:12-37.
- Lauga J. (1996) Le partage stochastique des ressources comme modèle possible de structure des peuplements. in: CNRS. *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*; Paris, cité des sciences et de l'industrie, 15, 16 et 17 Janv 1996. CNRS.
- Macey, M. W. (1998) Social Order in Artificial Worlds. *Journal of Artificial Societies and Social Simulations*. 1998; 1(1):1-9.
- Maturana, H. R. et Varela, F. J. (1992) *L'arbre de la connaissance: racines biologiques de la compréhension humaine*. FRA: Addison-Wesley; 1992. 256 p.
- May, R.M. (1973) *Stability and complexity in model ecosystems*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
- Packard N.H. (1988) *Adaptation toward the edge of chaos*. Univ. Illinois at Urbana Champaign: Center for Complex Systems Research; 1988; Tech. Rep. CCSR-88-5. 9 pages.
- Parrot, L. and Kok, R. (2000) Incorporating complexity in ecosystem modelling. *Complexity International*, vol.7, 19p. <http://www.csu.edu.ai/ci/>.
- Perry, A. (1995) Self organizing systems across scales. *Trends Ecol. Evol.* 1995; 10(6):241-244.
- Pitcher, T. J. and Pauly, D. (1998) Rebuilding ecosystems, not sustainability, as the proper goal of fishery management. Pitcher, T. J.; Hart, P. J. B., and Pauly, D. *Reinventing Fisheries Management*. London - ISBN 0 412 834103: Kluwer Academic Publishers.; 1998.
- Rosenberg, A. A.; Fogarty, M. J.; Sissenwine, M. P.; Beddington, J. R., and Shepherd, J. G. (1993) Achieving sustainable use of renewable resources. *Science*. 1993; 262:828-829.
- Smith, F. (1996) Biological diversity, ecosystem stability and economic development. *Ecological Economics*. 1996; 16:191-203.
- Stengers, I. (1987) Complexité: effet de mode ou problème ? sous la direction de : Stengers, I. *D'une science à l'autre: des concepts nomades*. France: Seuil / science ouverte; 1987; pp. 331-351.
- Stephenson, R. L. and Lane, D. E. (1995) Fisheries Management Science: a plea for conceptual change. *Can. J.Fish. Aquat.Sci.* 1995; 52:2051-2056.
- Taylor, P. (1989) Revising models and generating theories. *Oikos*. 1989; 54(1):121-125.
- Tilman, D. (1996) Biodiversity: population versus ecosystem stability. *Ecology*. 1996; 77(2):350-363.
- Vriend, N. J. (1995) Self-organization of markets: an example of a computational approach. *Computational Economics*. 1995; 8:205-231.