



Complexité et expérience. Imbrications entre faire et avoir

Francis Laloë

► **To cite this version:**

Francis Laloë. Complexité et expérience. Imbrications entre faire et avoir. Communication aux journées de Rochebrune, 2008 10 pages. 2008. <ird-00388749>

HAL Id: ird-00388749

<http://hal.ird.fr/ird-00388749>

Submitted on 27 May 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Complexité et expérience.

Imbrications entre faire et avoir

Francis Laloë

Institut de Recherche pour le Développement

UR 199, Innovations socio-environnementales et gouvernance des ressources.

<mailto:laloe@mpl.ird.fr>

Résumé

Si la complexité est indissociablement liée à l'incertitude et que l'aborder conduit à perdre les critères d'évidence au profit de ceux de cohérence (Legay, 1997), il apparaît impossible de construire une expérience permettant de décrire sans ambiguïté une situation.

On peut en fait revenir à l'histoire du mot « expérience » (Rey, 2000). Il désigne d'abord un « avoir » l'ensemble des acquisitions de l'esprit au contact de la réalité. C'est par métonymie qu'il désigne ensuite un acte (un « faire ») qui procure l'expérience de quelque chose.

Un même jeu d'observation issu d'un protocole raisonné peut alors être vu comme résultant d'une expérience *faite*, qui pourra être interprétée de diverses façons, selon l'expérience *qu'ont* les personnes qui les interprètent. C'est ce qui peut rendre riches et/ou conflictuels les dialogues interdisciplinaires

L'imbrication entre faire et avoir est une chose « nécessaire » qui peut parfois conduire à des confusion entre science et conviction. Cela conduit à discuter de questions de déontologie au niveau des disciplines « individuelles » et à celui des collectifs de recherches.

1 Introduction ; *une nécessaire ambiguïté ?*

Si on reprend l'idée selon laquelle la complexité est indissociablement liée à l'incertitude et que l'aborder conduit à perdre les critères d'évidence au profit de ceux de cohérence (Legay (1997), il apparaît impossible de construire une expérience permettant de décrire sans ambiguïté une situation.

Jean-Marie Legay (1997) par exemple identifie plusieurs étapes dans l'histoire de l'expérience, avec une prise en compte de plus en plus importante de la complexité. Après l'expérience répétable à l'identique conçue pour des couples « une cause un effet », la période « fishérienne » intègre l'idée de causes multiples, connues ou non, au sein d'un plan *contrôlé* permettant d'étudier l'une ou un petit nombre d'entre elles en rejetant

l'impact des autres, connues ou non, dans une variabilité résiduelle dont le « modèle » intègre l'existence de façon explicite. La décision de la complexité nécessitant une confrontation avec des situations réelles selon des protocoles raisonnés mais non contrôlés (hors station *expérimentale* par exemple...) fait perdre ensuite la possibilité de rendre les conséquences des causes étudiées « orthogonales » à celles des causes qui ne le sont pas. Cela conduit à la définition de l'expérience proposée quelques années auparavant par Legay (1993) « *toute procédure organisée d'acquisition d'information qui comporte, dans la perspective d'un objectif exprimé, une confrontation avec la réalité* ».

De nombreux exemples de situations d'incertitude sont disponibles, avec la mise en évidence de cas dans lesquels une expérience selon le sens donné ci-dessus conduit à des résultats vraisemblables selon plusieurs interprétations bien identifiées. Une d'elles, rapportée par C. Lobry, est relative au modèle prédateur-proie que Volterra avait proposé pour interpréter les changements de captures de pêche sur plusieurs espèces de poissons observés par d'Ancona à l'issue de la première guerre mondiale dans la mer Adriatique (augmentation des prédateurs et diminution des proies « résultant » de la diminution des activités de pêche pendant la guerre...). Même s'il rendait compte des observations, le modèle de Volterra n'a pas satisfait un certain nombre de scientifiques et, en 1935, d'Ancona (cité par Israel, 1996) lui faisait ainsi part de ses doutes :

«(...) je serais bien heureux si l'on pouvait donner des démonstrations expérimentales précises de vos théories mathématiques. (...) Sans doute mes observations sur la pêche dans l'Adriatique du Nord devraient donner un soutien plus sûr à vos théories parce qu'elles devraient démontrer un point essentiel, la troisième loi. Malheureusement mes observations statistiques peuvent être aussi interprétées dans un autre sens et Pearson, Bodenheimer et Gause sont de cet avis. Voilà pourquoi moi aussi je dois admettre que ces critiques ont un fondement sérieux. Mes observations peuvent être interprétées dans le sens de votre théorie, mais cela n'est pas un fait absolument indiscutable, il s'agit seulement d'une interprétation (...) *Votre théorie n'est pas la moins du monde touchée par toute cette question. Il s'agit d'une théorie fondée d'une façon cohérente et vraisemblable et s'accordant avec beaucoup de faits connus et vraisemblables. Elle reste donc une hypothèse de travail qui peut être la source de nouvelles recherches et qui subsiste même si elle n'est pas appuyée sur des preuves empiriques. Il est hors de doute qu'elle peut recevoir une autorité accrue de ces preuves, mais il faut s'assurer quand on les accepte qu'elles soient certaines et démonstratives, sinon il vaut mieux pour vous ne pas lier votre théorie à une base expérimentale qui est sans doute moins solide que la théorie elle-même*»

Il n'est peut-être pas surprenant que des observations faites sur la pêche – en tant que système articulant deux sous systèmes ; une ressource et son exploitation – puissent ne pas bien correspondre à une *procédure d'acquisition d'information suffisamment organisée* pour s'assurer qu'on peut

avoir une chance « raisonnable » d'atteindre *l'objectif exprimé* si ce dernier n'est relatif qu'à une composante du système observé (la ressource exploitée en l'occurrence). En effet, les résultats des pêcheurs dépendent des décisions qu'ils ont prises en poursuivant leurs propres objectifs. Par le choix des espèces cibles, des méthodes, des lieux de pêche, ils décident au moins en partie du plan d'expérience dont sont issus leurs résultats. Ce plan d'expérience peut dès lors lui même devenir source de questions et ces questions peuvent elles mêmes être légitimes – c'est-à-dire devoir être intégrées à une reformulation de l'objectif – si elles sont en relation claire avec une finalité affichée, par exemple l'aide à la décision pour la gestion des pêches (Laloë, 2006).

Cependant, la situation d'incertitude décrite ci-dessus peut prévaloir même dans des situations bien contrôlées. C'est par exemple ce qu'a montré Feller (1940) qui observait que plusieurs formules pouvaient concurrencer la loi de croissance logistique pour décrire la croissance en laboratoire d'une population de bactéries... il en concluait, dans le résumé en français de l'article, que : « *une concordance des observations avec la loi logistique ne permet aucune conclusion sur la nature du phénomène et les forces agissantes.* ».

Ces situations peuvent sembler très inconfortables, mais elles sont monnaies courantes dans nombre de disciplines, comme l'économie, au sujet de laquelle Malinvaud (2001) indique que « *l'économie est nourrie d'observations, mais n'est pas, sauf exception, une science expérimentale. Elle exploite, conjointement, et à parité, deux sources d'observations : d'une part, ce que tout un chacun sait des contraintes et des motifs des agents économiques ainsi que des interdépendances entre ces agents – ce qu'on peut appeler l'observation interne aux phénomènes – d'autre part les données statistiques collectées quant aux manifestations individuelles et collectives des phénomènes – à savoir l'observation externe* ».

Les deux sources d'observations citées par Malinvaud sont peut-être bien deux facettes de l'expérience, la première (ce que tout un chacun sait...) étant l'expérience que l'on a, et la seconde l'expérience que l'on fait (le protocole de collecte de données statistiques...). Ceci renvoie à l'histoire du mot « expérience » (Rey, 2000) : Il peut d'abord désigner « *le fait d'éprouver quelque chose, puis l'ensemble des acquisitions de l'esprit au contact de la réalité* ». C'est par métonymie qu'il désigne ensuite « *un acte qui procure l'expérience de quelque chose* ». Cela justifie les divers emplois du mot dans *faire une expérience* et *avoir (ou acquérir) de l'expérience*. L'expérience concerne aussi bien la procédure d'acquisition que ce qui a été acquis.

2 Une expérience faite, interprétable selon plusieurs expériences acquises...

Il devient dès lors parfaitement normal qu'un même jeu d'observations issu d'un protocole raisonné puisse être vu comme une expérience *faite*, qui pourra être interprétée de diverses façons, selon l'expérience *qu'ont* les personnes qui les interprètent. Il n'y a pas en effet pas forcément d'unicité sur ce que tout un chacun sait, surtout si ces savoirs sont relatifs à des disciplines différentes... C'est ce qui peut rendre riches et/ou conflictuels les dialogues intra ou interdisciplinaires... Ceci peut être également rapproché du sens mathématique de modèle (les modèles d'une formule sont les interprétations qui la rendent vraie, voir par exemple Wagner, 2002).

Lorsqu'une procédure raisonnée de collecte d'information a pu être mise en place et que plusieurs interprétations possibles peuvent être formulées, il s'agit de savoir à qui (au singulier ou au pluriel) peut revenir la charge d'identifier cette situation.

Dans le cas identifié par Feller (1940) relatif à l'incertitude sur l'interprétation de résultats biologiques obtenus selon une expérience contrôlée en laboratoire, les différentes interprétations qui sont envisagées relèvent d'une même discipline et le débat peut être mené en interne... la participation d'un « technicien » a pu éventuellement être utile pour soulever le problème. Dans le cas de l'observation d'une pêcherie, c'est-à-dire un système d'exploitation d'une ressource naturelle renouvelable, les interprétations peuvent être proposées à partir de points de vue disciplinaires différents, de sciences sociales et de sciences de la nature ; le statut du « technicien » peut devenir plus compliqué et plus « nécessaire » en se situant à l'articulation de ces points de vue.

2.1 Un exemple

Dans un exemple issu d'une simulation (Laloë 2006) des données sont obtenues selon un modèle représentant une pêcherie dans laquelle deux espèces de poissons sont exploitées par une flotte de pêche dont les unités peuvent choisir entre deux tactiques de pêche chacune privilégiant la recherche d'une des deux espèces. Chacune de ces tactiques conduit à des captures dans des proportions différentes sur les deux espèces, les probabilités de capture (capturabilités) étant plus élevées pour l'espèce ciblée. La simulation est conduite en considérant un nombre croissant puis décroissant d'unités de pêche. Une des deux espèces est « surexploitée » et toute augmentation de la mortalité par pêche qu'elle subit conduit à une diminution très rapide de son abondance. L'autre espèce n'est pas quant-à elle surexploitée. Dans ces conditions, lorsque le nombre d'unités de pêche augmente, ces dernières « constatent » la sensibilité de l'espèce surexploitée et les meilleurs rendements obtenus en ciblant l'autre espèce. Il en résulte une diminution de la proportion des actions de pêche ciblant l'espèce surexploitée

au profit des actions de pêche ciblant l'autre espèce... Il en résulte aussi que la mortalité subie par l'espèce menacée reste relativement stable en ne croissant pas dans la même proportion que les actions de pêche (il en est de même pour la période de décroissance du nombre d'unités de pêche). Cette situation est représentée dans la partie gauche de la figure 1.

Si on considère maintenant l'information disponible, telle qu'elle a pu être collectée, en termes de captures et de nombre de sorties de pêche en faisant l'hypothèse implicite que toutes les actions de pêche ont le même impact sur la ressource, on suppose alors que l'impact subi par chacune des espèces est proportionnel au nombre de sorties de pêche et l'espèce menacée devrait pratiquement disparaître. Mais il est possible (partie droite de la figure 1) de rendre compte de ces données en modifiant l'équation de croissance de la biomasse de l'espèce surexploitée. Cette modification consiste ici à considérer qu'environ 10% de la capacité de charge du milieu pour cette espèce est inaccessible à la pêche.

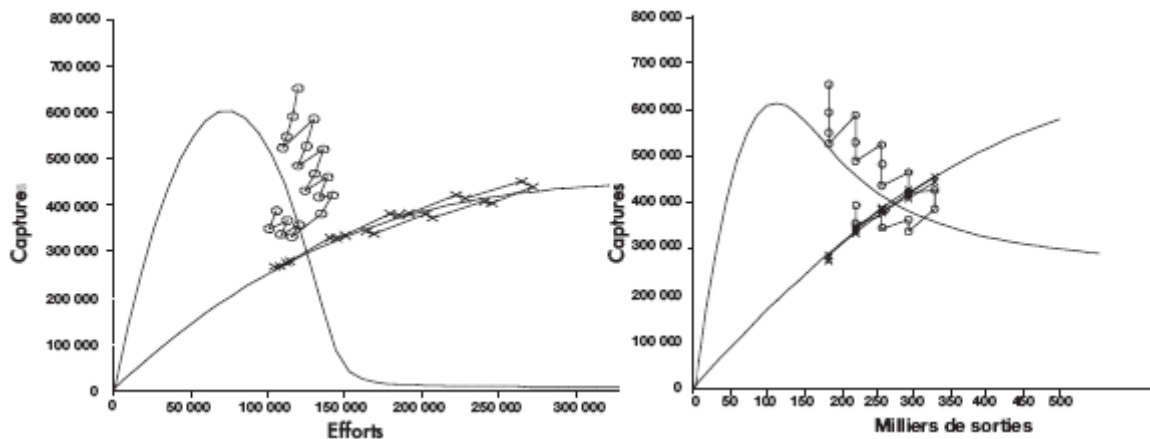


Figure 1 : Séries de captures et efforts pour une flotte de pêche exploitant deux stocks de poissons (d'après Laloë, 2006).

À gauche, données simulées en considérant deux tactiques de pêche disponibles (les efforts sont pour chaque stock fonctions des nombres d'actions de pêche pondérés par les capturabilités et les proportions d'usage de chaque tactique). À droite, les mêmes séries avec l'hypothèse d'absence de choix tactique (les efforts sont alors proportionnels au nombre d'unités de pêche). Les courbes « lisses » correspondent aux relations sous contraintes d'équilibre. À gauche la courbe relative à l'espèce menacée est d'allure parabolique en fonction de l'impact de la pêche, à droite l'allure de la courbe est totalement différente à cause de l'inaccessibilité d'une certaine quantité de biomasse.

Dans cet exemple, deux interprétations très différentes permettent de rendre compte d'un résultat empirique caractérisé par l'absence d'effondrement du stock menacé. La première fait appel aux pratiques de pêche, la seconde à l'existence d'une réserve de biomasse inaccessible. La première est identifiable selon un questionnement relevant des sciences sociales, la seconde relevant plus d'un questionnement de sciences de la nature. Mais bien sûr on peut s'interroger sur les raisons qui pourraient conduire à l'existence d'une biomasse inaccessible, cela peut être du au comportement des poissons ou bien à celui des pêcheurs. Il se pourrait que des pratiques

nouvelles de pêche, par exemple avec l'utilisation de dispositifs de concentration de poissons (DCP), conduisent à rendre capturables des poissons qui ne l'étaient pas auparavant. Il se pourrait que la mise en place d'aires protégées puisse se traduire par la conséquence inverse. Se donner la possibilité de tester de telles hypothèses apparaît tout à fait important si la collecte de ces informations a été décidée dans le cadre de programmes dont la mise en œuvre est entre autres justifiée par la recherche d'une meilleure capacité de gestion.

Dans cet exemple l'idée d'une quantité de biomasse inaccessible est introduite de façon très simple dans l'équation d'un modèle halieutique tel que celui de Shaefer représentant le prélèvement par pêche sur une population dont la croissance est décrite par une fonction logistique ; il suffit de passer de $dB_t/dt = r B_t (1 - B_t/K) - q f_t B_t$ vers $dB_t/dt = r B_t (1 - B_t/K) - q f_t (B_t - \alpha K)$

Dans ces équations, B_t est la biomasse au temps t , r un taux de croissance intrinsèque, K la capacité de charge, q la capturabilité, f_t l'effort de pêche au temps t et α est la proportion de la capacité de charge inaccessible à la pêche.

Cet exemple permet d'illustrer le fait que des données de « captures et d'efforts de pêche » très classiques dans le domaine de l'halieutique peuvent conduire à des interprétations extrêmement différentes et cohérentes selon l'expérience des interprètes.

Ces différences peuvent être identifiées dans le contexte d'une même discipline ou dans celui de plusieurs disciplines. Dans les deux cas le fait de choisir une des interprétations peut modifier la vraisemblance des autres mais les choses sont plus difficiles à identifier lorsqu'il s'agit de disciplines différentes, auquel cas la présence de « médiateurs » peut devenir essentielle. Par exemple, si on considère l'existence d'une biomasse inaccessible causée par un comportement spatial du poisson, il n'est pas nécessaire de supposer que les pêcheurs peuvent changer d'espèce cible, et réciproquement. Cela veut dire que les résultats obtenus dans une discipline impliquent des hypothèses dans le domaine des autres disciplines. La difficulté est que les hypothèses faites dans le domaine des autres ne sont souvent que des simplifications (si on n'a pas réfléchi à cet aspect des choses, il est plus simple de considérer que les pêcheurs pêchent toujours de la même façon), et qu'à ce titre ces hypothèses restent implicites. Dès lors qu'il s'agit de disciplines différentes l'articulation des points de vue sur des observations communes peut nécessiter le recours aux concepts d'autres disciplines qui, en reprenant la formulation déjà citée de Legay, s'intéressent à ces procédures organisées de collecte de l'information.

3 Un rôle spécifique pour les expérimentateurs ?

Je crois donc ici qu'une responsabilité importante repose sur les épaules des « techniciens » qui sont en charge d'une telle procédure organisée et du

traitement des données collectées dans le cadre de cette procédure, en accord avec les caractéristiques de la procédure et avec les questions (les objectifs exprimés) associées aux divers points de vue existants sur le système observé. Dans l'exemple présenté plus haut, le fait que la vraisemblance d'une solution selon un point de vue dépende de réponses relatives à des questions relevant d'un autre point de vue revient à constater une corrélation entre les estimateurs de paramètres qui ne sont pas conjointement identifiés par une discipline « thématique » donnée. L'emploi des termes de vraisemblance, de corrélation et d'estimateur est fait à dessein ici. Il indique que l'identification du problème peut être formulée selon les concepts essentiels d'une des disciplines, la statistique ici, dont peuvent relever les techniciens évoqués dans le paragraphe précédent.

Il peut cependant paraître incohérent de dire d'une part que la collecte est faite dans la perspective d'un objectif affiché et que d'autre part les « paramètres » de cet objectif n'auraient pas au départ été identifiés conjointement. Si cette difficulté apparaît, cela peut simplement vouloir dire que la procédure n'a pas été bien conçue (plan d'expérience mal construit) et qu'elle doit être redéfinie. Mais, comme cela a déjà été évoqué, le plan n'est pas nécessairement totalement contrôlable et les questions soulevées par son analyse peuvent être légitimes si elles sont en relation claire avec un objectif affiché qui peut éventuellement dépasser celui qui a été exprimé de façon explicite lors de la mise en place de la procédure de collecte. Tel est ainsi le cas pour des données telles que celles utilisées dans l'exemple présenté ci-dessus d'une pêcherie lorsque le traitement de ces données conduit à constater d'une part le « problème » décrit plus haut, ce qui empêche de répondre sans ambiguïté à la question ayant justifié la mise en œuvre de la collecte, et d'autre part que l'éventuelle adaptabilité des pêcheurs peut être de nature à réduire des risques liés à la surexploitation.

Dans ce cas, si la question initiale était posée dans le cadre d'un programme de recherche visant à caractériser la dynamique d'une ressource biologique sous l'impact de la pêche en vue d'améliorer la capacité de gérer son exploitation, force est de constater qu'on n'a pas bien répondu à la question initiale parce qu'a été mise en évidence une confusion entre cette question et une autre, mais force est de constater aussi que cette autre question est quant à elle en relation directe avec la gestion de l'exploitation...

Ici les « techniciens » qui pouvaient revendiquer – et dont on attendait – une certaine neutralité consistant à chercher à répondre au mieux à des questions posées par d'autres, peuvent être amenés en passant de l'application à l'implication, à participer à l'identification de nouvelles questions qu'aucune discipline ne peut à elle seule adopter.

3.1 Comment faire la part des choses

Cette imbrication des questionnements est peut-être aussi caractéristique des ambiguïtés découlant de la combinaison entre le faire et l'avoir. Ainsi Garcia

(2004) insiste-il sur la nécessaire séparation des rôles entre le scientifique en position de recherche et celui du scientifique en position de plaidoirie au service d'un client (dont le rôle est alors clairement de fournir la solution vraisemblable la plus conforme avec les intérêts de son client). Selon Garcia, un scientifique peut exercer les deux rôles, mais ce ne doit pas être au même moment et le danger peut venir d'une confusion entre le faire et l'avoir, en mettant son talent au service de sa propre conviction.

Cette question est à l'origine d'une très vive polémique qui a vu le jour en 2003 à la suite d'un article publié dans la revue *Nature* (Myers and Worm 2003) faisant état d'un déclin de l'ordre de 90% des biomasses de grands poissons prédateurs dans les diverses parties de l'océan mondial depuis l'apparition des pêcheries industrielles. Un site internet encore « actif » http://www.soest.hawaii.edu/PFRP/large_pelagics/large_pelagic_predators.html est dédié à cette polémique. Deux des documents récemment mis à disposition dans ce site sont en relation directe avec le sujet abordé ici.

Le premier est un court article de Ray Hilborn (2006) dans lequel il considère que des journaux scientifiques de grand renom, dont les informations sont souvent reprises dans des grands quotidiens d'information, n'acceptent nombre d'articles pour publication qu'en fonction de leur conformité avec les convictions des éditeurs et des arbitres de ces journaux :

“Science and Nature have published a long string of papers on the decline and collapse of fisheries that have attracted considerable public attention and occasionally gaining coverage in the New York Times and the Washington Post. I assert that the peer review process has now totally failed and many of these papers are being published only because the editors and selected reviewers believe in the message”(Hilborn R. 2006).

Le second est une réaction d'un écologue « de renom », Alan Longhurst, à un article paru dans la revue *Science* (Worm et al, 2006) annonçant l'effondrement des ressources halieutiques exploitée à l'horizon du milieu du 21^{ème} siècle. Sans entrer dans les détails de la critique, un point particulièrement intéressant porte sur les dangers liés à la mise à disposition de grandes masses de données qui peuvent être utilisées conjointement sans réelle connaissance suffisante de la nature de ces données et des procédures organisées ayant prévalu à leur collecte.

“Furthermore, the online availability of large data archives may perhaps not encourage careful thought about how the individual numbers should be interpreted: I suggest, therefore, that a little knowledge and a lot of information may be a dangerous combination” (Longhurst, 2007)

Ici, c'est le manque d'expérience disponible sur la collecte de ces données qui nuit à leur utilité comme données d'expérience...

4 En guise de discussion

La question de la place des expérimentateurs (« techniciens ») évoqués plus haut dans ce texte ne peut guère être abordée sans rechercher à identifier de quelle(s) discipline(s) ils peuvent relever. Sans prendre trop de risques, on

peut affirmer qu'il n'y a pas de discipline unique. En relation directe avec mon appartenance disciplinaire, des mots de la statistique ont été employés (estimateur, corrélation, vraisemblance...) mais des équations déterministes avec des modèles paramétrés ont été proposées, qui peuvent faire référence à plusieurs autres disciplines, et la statistique, pour revenir à elle, entretient une relation relativement récente avec les disciplines d'autres branches des mathématiques ou de l'informatique où on « spécifie » des modèles. Lehmann (1990) a ainsi bien montré comment, en particulier sous l'impulsion de R.A Fisher, le développement de la statistique a porté sur des questions d'estimation et de distributions, l'écriture de l'équation d'un « modèle » avec ses paramètres étant laissée à la marge de la discipline...

Pourtant ce sont bien les estimations des paramètres de ces modèles qu'attendent en premier lieu les clients des statisticiens... Une « solution » consiste alors à considérer les responsabilités de chacun au sein d'un travail collectif. L'estimation, avec les questions relatives à ses qualités relève bien des concepts de la discipline qui a développé la théorie de l'estimation. Le modèle paramétrique utilisé pour rendre compte des observations peut être utilisé à la lumière de l'expérience acquise dans les contextes d'autres disciplines pour « expliquer » ces observations au vu des estimations réalisées qui en constituent une synthèse.

Dans ces conditions, les caractéristiques déontologiques des divers participants doivent être clarifiées... Mais cela restera insuffisant si l'expérimentation sur des systèmes complexes conduit à soulever des questions qu'aucune discipline ne peut à elle seule adopter. Une déontologie « collective » devient également nécessaire en affichant, au sein du collectif, la présence possible de ces questions qui peuvent s'imposer parce qu'elles sont liées à la finalité d'un programme. Une telle recherche de déontologie collective est proposée par un groupe ayant adopté une « charte » relative à la modélisation comme outil d'accompagnement (Collectif ComMod, 2005).

Mais, si un tel effort de clarification est nécessaire et bienvenu au sein d'un collectif, la question reste en retour celle de sa généralité en se demandant s'il peut être suffisant pour au moins deux raisons. La première raison est de ne mettre l'accent que sur l'outil choisi et utilisé au sein d'un groupe composé de représentants de nombreuses disciplines de Sciences sociales, de Sciences de la nature et de Sciences de modélisation. La seconde raison est, à partir du choix nécessaire d'un outil, de n'offrir qu'une vue nécessairement partielle des disciplines qui développent les outils susceptibles d'être adoptés dans le domaine de l'expérience relative aux systèmes complexes.

La clarification déontologique doit être individuelle et collective pour tous les métiers réunis pour une opération d'expérience sur un système complexe.

5 Références

Collectif ComMod, 2005. La modélisation comme outil d'accompagnement
Nature Sciences Sociétés. 13, 165-168 .

- Feller W, 1940. On the logistic law of growth and its empirical verifications in biology. *Acta biotheoretica*, ser. A, 5, 51-65.
- Garcia S. 2004. Recherche halieutique et gestion des pêches. *Aquatic Living Resources*. 17, 91-94
- Hilborn R. 2006. Faith-based Fisheries. *Fisheries* 31(11), 254-255
- Israel G (1996), *La mathématisation du réel*, Seuil, Paris
- Laloë F. 2006 Questions biologiques et jeux complexes de données. Une expérience halieutique p. 65-83. *In l'interdisciplinarité dans les sciences de la vie*. J.-M. Legay (éd. scient.) Coll. Indisciplines Editions Quae.
- Legay, J.-M., 1993. Une expérience est-elle possible ? *Biométrie et environnement*. J.-D. Lebreton et B. Asselain (éd). Masson, p. 205-239.
- Legay J.-M., 1997. L'expérience et le modèle. Un discours sur la méthode. *Sciences en questions*, Inra éditions, 112 p.
- Lehmann E. L. 1990. Model specification: The Views of Fisher and Neyman and Later Developments. *Statistical Science* 5(2), 160-168.
- Longhurst A., 2007. A little knowledge (plus a lot of information) may be a very dangerous combination. Disponible sur le site http://www.soest.hawaii.edu/PFRP/large_pelagics/Longhurst-A-little-knowledge.pdf
- Malinvaud E., 2001. Statistique et économie. *In la statistique*. Académie des sciences RST n°8 p. 100-106
- Myers R. A. and Worm B. 2003. Rapid worldwide depletion of predatory fish communities. *Nature* 425, 280-283
- Rey A. (sous la direction de) 2000. Dictionnaire historique de la langue française. Dictionnaires Le Robert Paris. 3^{ième} édition.
- Wagner P. 2002, Qu'est-ce que la théorie des modèles ? *In Enquête sur le concept de modèle* (Dir. P. Nouvel). Sciences, histoire et société, PUF, p. 7-28.
- Worm B. et al. (2006) "Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services", *Science* 314, 787-790.