

Modélisation de systèmes d'exploitation
Quelques considérations statistiques

Francis Laloë

HEA, Centre Orstom, B.P. 5045 34032 Montpellier cedex 1

La représentation et l'analyse des systèmes d'exploitation des ressources naturelles impose un couplage entre une représentation de la dynamique de la ressource et une représentation de la dynamique de l'exploitation.

Ces dynamiques sont complexes et en rendant compte d'une recherche, on présente un cadre d'interprétation et des données synthétiques qui s'agencent selon ce cadre. Le modèle ainsi présenté ne permet pas de reconstituer exactement la totalité de l'information utilisée ou disponible. Les différences pouvant exister entre diverses situations dont on rendrait compte de façon identique sont donc négligées. Si tel n'était pas le cas, rendre compte se réduirait à la simple récitation de toute l'information, de toutes les données et donc à un refus d'interprétation...à un refus de modèle.

Mais, par ailleurs, si on considère que l'information disponible initialement est relative à un système d'exploitation qui existe par lui-même, l'identité de deux jeux d'information ne saurait entraîner celle des deux systèmes dont ces jeux sont issus. La simple récitation de l'information est donc également un modèle. Il s'agit d'un modèle intermédiaire et inacceptable car la collecte et l'observation sont fondées sur une représentation du système représentation qu'il convient d'utiliser pour en rendre compte.

Si l'on considère l'évaluation ou la validation d'un modèle, on peut se poser la question de savoir si toute l'information disponible est bien restituée dans la synthèse qui en est faite, « une méthode est d'autant meilleure qu'elle extrait plus d'information d'une situation donnée » (Fisher, cité par Legay et Deffontaines, 1992). Cette question peut trouver une réponse lorsque l'objectif est de traiter d'une question clairement présentée. Il est ainsi possible de mettre en place des plans d'expérience tels que toute l'information qui en est issue se synthétise de façon naturelle selon la question posée. Cette qualité est directement associée à celle d'exhaustivité (en anglais sufficiency) pour une statistique (Fisher 1922) ainsi qu'à celle de partition exhaustive minimale, définie par la relation selon laquelle deux situations sont équivalentes si elles prennent les mêmes valeurs selon une statistique exhaustive minimale, dont on trouvera une présentation par Arnold (1988).

On sait ainsi que les estimateurs des paramètres (incluant la variance résiduelle) d'un modèle linéaire gaussien à effets fixes, constituent une statistique exhaustive minimale ; toute l'information est présente dans cette synthèse et toute meilleure réponse à une question donnée, fonction des données observées est une fonction de cette statistique. Il s'agira, dans le cas d'un modèle à un facteur de variation à p niveaux

$$Y_{ik} = m_i + \varepsilon_{ik}$$

où les ε_{ik} sont des variables indépendantes gaussiennes, centrées et de même variance σ^2 , de la statistique composée de $p+1$ variables :



$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{k=1}^{n_i} Y_{ik}}{n_i}, i=1...p \text{ et } S^2 = \frac{\sum_{i,k} (Y_{ik} - \bar{Y}_i)^2}{n-p}$$

Si on dispose d'observations réalisation de ce modèle, elles seront utilisées sous la forme de fonctions des moyennes par niveaux et de l'estimation de la variance résiduelle.

Des modèles de ce type sont par exemple utilisés pour comparer l'impact d'unités de pêche sur une ressource exploitée (chaque unité est un niveau d'un facteur de variation) ou pour évaluer la variabilité associée à telle ou telle caractéristique des variétés d'une plante etc. Leur usage est inféodé à des protocoles d'enquête stricts ou à la mise en place rigoureuse d'expériences permettant de s'approcher au mieux des *suppositions* (en reprenant le terme utilisé par Tomassone et al 1993) faites sur la distribution générale des variables aléatoires dont les observations sont des réalisations. En l'absence de ces protocoles ou de ces mises en place d'expérience, on ne sait plus la qualité des synthèses produites, on ne sait plus réellement ce qu'on estime.

La situation décrite ici est « idéale » dans la mesure où la question posée et l'information disponible sont en parfaite cohérence. Mais on ne traite pas alors d'un système d'exploitation en tant que tel ; on apporte une connaissance relative à une composante d'un système d'exploitation.

Lorsqu'on se réfère à une représentation d'un système « réel », on définit des indicateurs, des typologies permettant de classer des unités selon des catégories, on caractérise des relations, des articulations... Tout ceci est associé à un questionnement général selon lequel se formule une synthèse des informations relatives au système. On peut ici aussi évoquer une partition, associée à la relation d'équivalence selon laquelle sont équivalents deux systèmes pour lesquels on obtiendrait deux synthèses identiques. L'information ainsi traitée est d'autant plus « efficace » qu'elle se synthétise de façon naturelle selon ce questionnement général. En fait le recours à des méthodes d'analyse exploratoire des données permet de participer à l'identification du cadre de distribution des données et donc à la détermination de la forme des synthèses qui extraient le plus d'information de la situation, on met en oeuvre une statistique de l'observation (Legay et Deffontaines 1992). L'analyse des données (au sens général) est donc l'un des outils qui permettent d'améliorer notre perception de la réalité et de modifier le cadre selon lequel on la représente. Mais cette analyse ne s'applique qu'à l'information disponible et est donc réalisée à partir d'une synthèse initiale. Elle est conditionnée par le questionnement initial et peut conduire à remettre en cause la nature de l'information qu'il convient de se donner.

S'il n'existe sans doute pas de modèle ou de représentation pouvant prétendre rendre compte de façon suffisante d'un système d'exploitation, l'existence d'un système peut cependant s'imposer à l'observation et à l'interprétation. C'est le cas lorsque, pour répondre au mieux à certaines questions, on est amené à négliger certains aspects qui s'imposent à l'observation parce qu'ils permettent de préciser nos réponses à d'autres questions posées, par exemple relatives à l'aménagement ou à la viabilité du système d'exploitation. L'existence de la dynamique instaurée en cherchant alors à résoudre les difficultés liées à de telles situations est sans doute une qualité des systèmes complexes. Si cette dynamique est associée à une certaine forme de pluridisciplinarité, elle participe aussi à la démonstration de la pertinence de questions disciplinaires. C'est ce que nous essaierons d'illustrer par un exemple relatif à une étude relative à une exploitation halieutique, la pêche artisanale au Sénégal.

La pêche artisanale au Sénégal.

L'étude décrite ici (Laloë et Samba, 1990) a été menée dans le contexte d'un programme de recherche initialement conçu à partir d'un questionnaire, classique en halieutique, portant sur l'analyse de la dynamique d'une ressource sous l'impact de l'activité de pêcheries. Ces analyses ont pour but d'apporter des connaissances utiles dans les domaines de l'aménagement des pêches et de la gestion des populations exploitées, utilité évidente si l'on admet qu'en donnant un diagnostic sur l'état de la ressource et une prévision de son évolution en fonction de l'activité de pêche pouvant être mise en oeuvre, on peut donner également une prévision des résultats associés à cette activité, résultats dépendant pour partie du niveau de l'activité de pêche et de l'état de la ressource.

Selon ce questionnaire initial, les exploitations ayant engendré dans le temps des impacts « équivalents » sur des ressources « équivalentes » apparaissent elles mêmes « équivalentes ».

L'équivalence des ressources est bien sur fonction de la façon dont on choisit de représenter la ressource. Si on utilise des modèles synthétiques de dynamique des populations, cet état est représenté par une quantité B_t au temps t . L'équation la plus simple d'un tel modèle est (Schaeffer 1954)

$$dB_t/dt = r B_t(1 - B_t/K) - q f_t B_t$$
 où r , K et q sont des paramètres. La capturabilité, q , est la probabilité de capture d'une unité de biomasse par une unité d'effort. B_t est donc une biomasse exploitée, par laquelle on décrit l'état de la ressource et f_t est un effort de pêche « effectif » (voir par exemple Laurec et Le Guen 1981) selon lequel on représente l'activité de la pêche.

Cet exemple montre bien que la représentation de l'activité de pêche est inféodée à la forme du modèle utilisé pour décrire l'évolution de l'état de la ressource. Les activités de pêche déployées par deux exploitations apparaissent équivalentes s'il y a égalité, pour une même capturabilité, des vecteurs d'efforts effectifs qui leur sont associés pendant la période étudiée. Les ressources exploitées sont elles mêmes équivalentes si les paramètres K et r sont égaux

Il existe bien entendu de nombreuses adaptations du modèle donné ci-dessus mais qui ne remettent pas fondamentalement en cause les considérations du paragraphe précédent. On peut en particulier considérer plusieurs populations exploitées par plusieurs flottes de pêches différentes, on cherchera alors à présenter la dynamique de chaque population séparément, avec une représentation associée de l'activité de pêche qui combinera l'ensemble des activités selon une unité associée à la définition d'une unité d'effort de pêche adaptée. L'unité d'effort de pêche est généralement définie à partir d'une quantité d'activité donnée d'une unité de pêche de référence à laquelle seront comparées les activités des autres unités. Il convient également de rappeler que certains modèles, dits analytiques ou structuraux, tiennent compte de la structure démographique des populations exploitées. Dans ce cas l'effort de pêche sera décrit avec la répartition de son impact selon les diverses classes d'âge.

A partir d'une représentation utilisant le modèle donné ci-dessus, il convient de se donner une information permettant d'estimer au mieux, au cours du temps, l'effort de pêche et les rendements obtenus. Il n'est pas possible de connaître en général la biomasse B_t , on peut par contre au prix d'une supposition de constance du paramètre q (capturabilité) suivre l'évolution de B_t à partir de celle des rendements de pêche qui sont des indices d'abondance (captures par unité d'effort).

La synthèse de l'information devrait donc se faire au mieux selon un effort effectif et cela peut avoir des conséquences sur la sélection des observations qui vont être réalisées. Ainsi, dans le

cas du Sénégal, l'activité de pêche est menée par des unités relevant de deux grandes catégories, industrielles ou artisanale. L'activité et les résultats sont pour bon nombre de raisons plus aisément observables auprès des unités industrielles qu'auprès des unités artisanales. Le choix d'une unité d'effort de pêche correspond donc à une quantité d'activité donnée d'une unité ou catégorie d'unités donnée de pêche industrielle. L'activité des autres unités de pêche sera exprimée en référence à cette unité choisie, en tenant compte bien entendu d'une puissance de pêche, permettant par exemple de dire à combien de pirogues équivaut un chalutier. On est alors naturellement conduit à « penser » à un modèle linéaire relatif aux logarithmes des rendements obtenus par les diverses catégories d'unités de pêche, permettant d'estimer une puissance de pêche pour chacune d'elles. Ces puissances de pêche seront des effets associés à chaque type d'unité dans l'analyse de variance d'un modèle linéaire au sein duquel le type d'unité est un facteur de variation, un autre facteur étant associé à des strates « spatio-temporelles » (modèle de Robson, 1966)

Dans ce contexte, l'activité des unités de pêche artisanales est logiquement décrite à partir d'une stratification fondée sur l'engin de pêche utilisé. Elle est estimée à partir des nombres de sorties réalisées avec chaque type d'engin, et la collecte de l'information relative à l'activité et aux résultats de la pêche artisanale est de manière fondamentale définie à partir de ce critère de stratification.

L'analyse des données collectées selon un tel protocole conduit à mettre en évidence l'existence d'interaction entre facteur de variation « type de sortie » et effets spatio-temporels. On ne peut plus rendre compte de l'information disponible à partir d'un effet principal (type de sortie) ; en d'autres termes, on ne répond pas à la question de savoir à combien de « pirogues lignes » équivaut un chalutier. Il faut préciser où et quand.

Cette observation est liée à d'autres observations relatives à la pratique des unités de pêche artisanale. Ainsi, les enquêteurs posaient-ils souvent la question de savoir à quelle strate affecter une sortie de pêche lorsqu'il était évident que deux techniques avaient été mises en oeuvre. Cette difficulté de caractériser une opération de pêche était liée à une autre difficulté, provenant du fait que les effectifs des strates étaient fort variables, variabilité due au fait qu'une « unité de pêche » peut décider de changements de technique de pêche, et donc de strate, selon les circonstances. Cette variabilité conduit à ressentir comme « instable », selon la représentation adoptée, l'activité de la pêche artisanale.

Il s'est donc avéré que la dynamique de l'impact de l'activité de pêche pouvait elle même faire l'objet d'une représentation. Il s'agissait même d'une nécessité pour plusieurs raisons liées à la qualité des connaissances produites relatives à la dynamique des populations exploitées en termes d'apport à la question générale de l'aménagement et de la gestion. En effet, la représentation de l'activité de pêche selon un effort effectif, variable explicative, conduit à répondre à la question de l'état de cette ressource conditionnellement à un effort effectif donné, conduisant à terme à une situation d'équilibre (ou plutôt de stationnarité) de cet état et des résultats associés à cet effort effectif qu'un « décideur » serait susceptible de choisir. Si les pêcheurs peuvent choisir entre plusieurs techniques de pêche, et donc entre plusieurs valeurs d'efforts effectifs, alors ils sont aussi des « décideurs » et l'idée d'un effort donné qui pourrait être choisi doit être abandonnée. En second lieu, la capacité de changement de technique de pêche peut être liée à la viabilité des unités de pêche. Il est possible en effet que des unités de pêche industrielles apparaissent « stables » parce qu'elles peuvent « poursuivre » la ressource qui les intéresse dans tous ses déplacements. Des unités artisanales avec des rayons d'actions plus limités doivent peut-être quant à elles mettre en oeuvre leur

savoir faire et leurs connaissances en choisissant la technique la mieux appropriée pour capturer des individus de l'espèce présente là où ils peuvent se rendre au moment où ils s'y rendent. Il est par ailleurs évident que les suppositions selon lesquelles les rendements observés reflètent des abondance deviennent suspectes, la « disparition » d'une espèce des captures ne signifie pas nécessairement une « disparition ». Elle ne correspond pas nécessairement non plus à une catastrophe socio économique...

Pour rendre compte des capacités de changements, il est donc nécessaire de décrire séparément les unités de pêche et les opérations de pêche, et donc recourir à des typologies séparées pour les représenter. Les unités de pêche peuvent ainsi être caractérisées par des « stratégies » (la gamme de choix dont elles disposent et les modalités de leurs choix). Les opérations de pêche peuvent correspondre à des « tactiques » décrites par la nature de l'impact sur la ressource (vecteurs de capturabilités).

Nous avons ainsi réalisé un modèle de simulation, représentant la pêche artisanale selon cette approche, au sein duquel les pêcheurs peuvent décider des changements en fonction des résultats récents observés (Laloë et Samba 1991). La mise en oeuvre de ce modèle a permis de montrer l'insuffisance de la représentation initiale, et de produire quelques résultats compatibles avec des changements profonds observés au cours des années 70 et 80.

Le besoin de coupler les représentations des dynamiques de l'exploitation et de la ressource pourrait être bien sûr illustré par bien d'autres exemples, et le cas présenté ici se situe dans une dynamique actuelle des recherches (voir par exemple Hilborn 1985, Allen et MacGlade 1986, Laurec et al. 1994, Quensière 1994).

La dynamique de la représentation se traduit aussi par des besoins nouveaux d'information et de traitement. Il s'est ainsi avéré nécessaire de se donner la capacité de mieux décrire les choix disponibles pour les diverses classes d'unités et de se donner l'information et les outils adaptés pour progresser vers cet objectif. C'est ainsi que des enquêtes de suivis d'unités de pêche ont été mises en place avec la mise en oeuvre d'outils d'analyse statistique et symbolique (Ferraris 1995). C'est ainsi également qu'un programme a été lancé pour une modélisation utilisant les démarches et outils d'intelligence artificielle (Le Fur 1995), également mis en oeuvre (Bousquet 1994) dans le contexte du programme mené sur l'exploitation halieutique au Delta Central du Niger, programme pour le quel la conception des protocoles de collecte d'information (Laë et al. 1994) a largement été organisée à partir de questions sur la dynamique de l'exploitation en général et celle des unités de pêches en particulier. C'est ainsi également qu'est menée une réflexion sur la mise en place d'un observatoire des pêches en Guinée (Chavance et Diallo, 1995).

La dynamique décrite trouve sa justification en dehors de démarches monodisciplinaires. Nombre des insuffisances mises en évidence sont en fait liées à des informations qui s'imposent à l'observation parce qu'elles correspondent à des « différences qui font des différences ». Ces informations peuvent souvent s'imposer de manière efficace parce qu'elles s'intègrent de façon naturelle aux questions « d'autres disciplines », questions qu'il est donc particulièrement utile de connaître et de mettre à disposition (Laloë, Rey et Durand 1995). Cette dynamique renvoie cependant très rapidement à de nombreuses questions disciplinaires qui peuvent trouver une pertinence au sein des cadres de représentation renouvelés. La question de l'état des populations exploitées reste bien sûr essentielle mais elle peut être prolongée de façon « fondamentale » en cherchant à rendre compte des caractéristiques liées aux pratiques de certaines unités de pêche. Les changements, décidés par les pêcheurs, dans la

répartition des mortalités qu'ils infligent selon les populations exploitées, imposent ainsi de s'intéresser à l'aspect plurispécifique de la ressource. Ces changements s'ils sont associés à des rayons d'action limités imposent de s'intéresser à la nature des distributions spatiales, alors que l'activité et les résultats d'unités de pêche qui se rendent là où est le poisson permettaient dans une certaine mesure de justifier des hypothèses d'homogénéité de la répartition de la ressource.

Références

- Allen P. et J. MacGlade, 1986. Dynamics of discovery and exploitation. The case of scotian shelf groundfish fishery. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43, 1187-1200.
- Arnold S.F. 1988. Sufficient statistics. In *Encyclopedia of statistical sciences*, S. Kotz and N.L. Johnson (eds), vol. 9, 72-80
- 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 Univ. Lyon I, 11 mars 1994. Coll. TDM, N°119. Orstom Editions.
- Chavance P. et A. Diallo. 1995. Suivi et compréhension de la dynamique des exploitations halieutiques. Première réflexion sur un observatoire des pêches en Guinée. In *Questions sur la dynamique de l'exploitation halieutique*, F. Laloë, H. Rey et J.L. Durand (éds). p. 507-530. Coll. Etudes et Thèses, Orstom éditions.
- Ferraris J. 1995. Démarche méthodologique pour l'analyse des comportements tactiques et stratégiques des pêcheurs artisans sénégalais. In *Questions sur la dynamique de l'exploitation halieutique*, F. Laloë, H. Rey et J.L. Durand (éds). p. 263-296. Coll. Etudes et Thèses, Orstom éditions.
- Fisher R.A. On the mathematical foundation of theoretical statistics. *Philos. Trans. R. Soc.(London) Ser. A*, 222, 309-368.
- Hilborn R. 1985. Fleet dynamics and individual variations, why some people catch more fish than others. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42. 2-13.
- Laë R. P. Morand, C. Herry et J.Y. Weigel 1994. Méthodes quantitatives ; échantillonnage et traitement des données. In Quensière J. (ed). *La pêche dans le delta central du Niger, approche pluridisciplinaire d'un système d'exploitation halieutique*. Orstom - Karthala - IER éditions, 495 p. + cartes. p.449-478.
- Laloë F., Samba A. 1990. La pêche artisanale au Sénégal, ressource et stratégies de pêche. Thèses Univ. Paris Sud, 19 juin 1989. Coll. Etudes et Thèses, Orstom éditions.
- Laloë F., A. Samba. 1991. A simulation model of artisanal fishery of Senegal. *ICES Mar. Symp.* 193 : 281-286.
- Laloë F., H. Rey et J.L. Durand 1995 (éditeurs). *Questions sur la dynamique de l'exploitation halieutique*. Coll. Etudes et Thèses, Orstom éditions. 541 p.
- Laurec A., J.C. Le Guen 1981. Dynamique des populations marines exploitées. *CNEXO Rapp. Sci. et Techn.*, 45, 117 p.
- Laurec A., A.Biseau et A. Charuau 1991. Modeling technical interactions, *ICES Mar. Symp.*, 193. 225-234.
- Le Fur J. 1995 Modeling adaptative fishery activities facing fluctuating environment : An AI applications. 9, 1, 85-97.
- Legay J.M. et J.P. Deffontaines; 1992 Complexité, observation et expérience. In *Sciences de la vie, sciences de la société. Les passeurs de frontières*. M. Jollivet (éd). CNRS éditions, p. 491-507.
- Quensière J. (ed) 1994. *La pêche dans le delta central du Niger, approche pluridisciplinaire d'un système d'exploitation halieutique*. Orstom - Karthala - IER éditions, 495 p. + cartes.
- Robson D.S. 1966. Estimation of the relative fishing power of individual ships. *ICNAF res. Bull.* 3 : 5-15.
- Schaeffer M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of population important to the management of the commercial marine fisheries. *Bull. Int. Trop. Tuna Comm.* 1. 26-56.
- Tomassone R., C. Dervin et J.P. Masson, 1993. *Biométrie, modélisation des phénomènes biologiques*. Masson.

Tendances nouvelles

EN MODÉLISATION
POUR L'ENVIRONNEMENT

cité des Sciences et de l'Industrie, Paris
les 15, 16 et 17 janvier 1996

ACTES DES JOURNÉES DU PROGRAMME
ENVIRONNEMENT, VIE ET SOCIÉTÉS

COMMUNICATIONS ORALES

SESSION B : Modélisation des systèmes
complexes, nouveaux modèles, validation
de modèles.



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE