



**Association  
Française  
d' Halieumétrie**

**Deuxième Forum Halieumétrique  
Nantes 26-28 juin 1995**

# ***Résumés***







**Association  
Française  
d' Halieumétrie**

**Deuxième Forum Halieumétrique  
Nantes 26-28 juin 1995**

## **Méthodes d'étude des systèmes halieutiques et aquacoles**

### **Résumés des communications**

#### SOMMAIRE

##### **Session I : Acquisition de l'information.**

Exposé introductif de M. RELANDEAU. Pérennité et qualité du système d'information : à quelles conditions ?

CHAVANCE P., & A. DIALLO. Un observatoire des pêches. Pourquoi et comment ?

SILAN P., P. SOTO, E. LE POMMELET, & H. CALTRAN. Système d'information et interdisciplinarité: la base de données relationnelle ECORDRE et ses applications en milieu marin.

MORAND P., Y. PONCET, & T. NIARE. Le montage d'un système de suivi en halieutique continentale: utilité de l'approche "Système d'information".

PONCET Y., & P. MORAND. Dans un système d'information acquisition-restitution, la localisation constitue-t-elle un cas particulier ?

GOBERT B. Répartition spatiale de l'effort de pêche aux nasses dans une pêcherie artisanale de récifs (Martinique).

BERTRAND J. Evaluation des ressources démersales en Méditerranée : organisation d'un système de suivi par campagnes de chalutage (programme MEDITS)

##### **Session II : Analyse de l'information.**

Exposé introductif de C. DUBY. Un regard sur l'analyse de l'information en halieumétrie.

SCHAAN O., & D. GASCUEL. Limites d'utilisation des estimateurs proportions en halieutique.

LALOE F. Modèles linéaires généraux ?

- BADIA J., P. PROUZET, & F.X. CUENDE. Modèle linéaire généralisé, application aux effets des conditions climatiques sur les captures par unité d'effort de saumon et d'aloise dans un estuaire.
- GAUTHIEZ F. Estimation des puissances de pêche.
- BEZ N., J.C. POULARD, & J. RIVOIRARD. Le covariogramme: un outil structural.
- MORIZE E. Les poissons démersaux de la ZEE guinéenne: problèmes liés à l'étude de la répartition spatiale de leur biomasse.
- GUIBLIN P., & J. RIVOIRARD. Calcul de variances d'estimations globales: conditionnement par une variable auxiliaire.
- GAUTHIEZ F., J.C. POULARD, & C. KOUTSIKOPOULOS. Analyse de la distribution spatiale à petite échelle des poissons benthiques et démersaux de la Mer Celtique.
- LEBON LE SQUER D. La place des organisations de producteurs des pêches maritimes dans le système halieutique.
- GAERTNER J.C. Etude de la répartition spatiale des associations d'espèces démersales dans le Golfe du Lion par méthodes factorielles simples et multiples.
- GALZIN R., P. LEGENDRE, & M.L. HARMELIN-VIVIEN. Le quatrième coin ou comment interpréter les résultats contenus dans trois matrices de données biologiques, comportementales et environnementales, collectées dans les récifs coralliens d'une île haute en Polynésie Française.
- BRU N., B. TRUONG, & S. DOSSOU-GBETE. Etude de l'influence des facteurs hydroclimatiques sur la capture de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) par l'analyse canonique fonctionnelle.
- TRUONG-VAN B., S. DOSSOU-GBETE, & N. BRU. Une modélisation stochastique de l'impact des facteurs hydroclimatiques sur les captures de civelles d'anguille.
- CURY P., & C. ROY. Exploration dans le domaine non-linéaire des relations entre l'environnement et la dynamique des populations marines.
- PECH N. L'analyse en composantes principales sur variables instrumentales: application aux rendements de pêche de deux ports de la côte sénégalaise.
- BOET P., & T. FUHS. Prédiction de la composition spécifique du peuplement piscicole en milieu fluvial par des méthodes connexionnistes: application au Bassin de la Seine.
- DELACOSTE M., S. LEK, P. BARAN, I. DIMOPOULOS, & J.L. GIRAUDEL. Modèle neuronal versus régression multiple de prédiction des nids de truite.
- TONG H., & E. PERINEL. Une approche numérique /symbolique pour l'extraction et la formalisation des connaissances.
- NAUDIN S., H. PELLA, N. CHARLON, J. GARRIC, & P. BERGOT. Détection de larves de poisson anormales par analyse d'image.

### **Session III. Modélisation et représentation des connaissances.**

- Exposé introductif de F. VALETTE. Voies rapides, grands et petits chemins, sentiers de traverse... : diversité des itinéraires de la recherche en halieutique, entre "le réel" qu'elle étudie et "les modèles" qu'elle génère.
- GOUJON M., R.B. DERISO, & R.G. PUNSLY. Une simulation du mouvement des albacores dans le Pacifique tropical Est basée sur un modèle à trois paramètres.

FOUCHER E. Un système-expert simple pour l'estimation des flux de migration entre zones: application au listao (*Katsuwonus pelamis*) dans l'océan Atlantique tropical Est.

ARINO O., & C. KOUTSIKOFOULOS. Modélisation du cycle de vie de la sole du Golfe de Gascogne.

SILAN P., M. LANGLAIS, & C. BOULOUX. Approche déterministe et stochastique de la dynamique des populations parasites: application au modèle "Poisson-Monogène".

LAMBERT P., E. ROCHARD, & P. ELIE. Présentation d'un simulateur individus-centré de migration estuarienne de civelles.

LE PAGE C. Dynamique des populations et vie artificielle.

DUMAS J., R. FAIVRE, M.H. CHARRON, J. BADIA, P. DAVAINÉ, & P. PROUZET. Modélisation stochastique du cycle biologique du saumon atlantique (*Salmo salar* L.): bases biologiques, implémentation informatique et interprétation.

MAURY O. Une relation stock-recrutement généralisée ajustée à la production observée et ses implications sur la dynamique du recrutement permettent d'envisager l'effondrement des stocks.

TOUZEAU S., & J.L. GOUZE. A propos des relations stock-recrutement.

PREVOST E., BAGLINIERE J.L., NIHOARN A. & MAISSE G. Mise en évidence de l'altération d'un système lothique par l'analyse d'une courte série de données stock/recrutement d'une espèce indicatrice, le Saumon atlantique (*Salmo salar*).

CHABOUD C. Un modèle de simulation bioéconomique autorégénérant: application à l'étude des sources de variabilité dans les pêches et des conséquences de certaines institutions économiques sur leur dynamique à long terme.

LOBRY C., & A. SCIANDRA. Modèles de croissance d'une population de filtreurs.

LE FLOC'H P., J.P. BOUDE, & F. DAURES. Une illustration du problème de traduction des gains de productivité en gains de rentabilité dans l'activité chalutière.

ROMAGNY B., & C. LOBRY. Variations autour de la modélisation de la "tragédie du libre accès" aux ressources naturelles renouvelables: à la recherche d'un autre cadre conceptuel que celui du "dilemne du prisonnier".

LE FUR J. Simulation d'une exploitation artisanale.

#### **Hors session.**

PETITGAS P. Représentations simulées de nos connaissances sur une pêcherie à la senne tournante.

#### **Table ronde : Conférences thématiques.**

LARDON S. La dimension spatiale dans les recherches sur les systèmes agraires.

TREUIL J.P. Nouveaux outils informatiques : l'apport d'une discipline.

# **SESSION I**

## **ACQUISITION DE L'INFORMATION**

**Pérennité et qualité du système d'information :  
à quelles conditions ?**

Muriel RELANDEAU  
IFREMER Nantes

# UN OBSERVATOIRE DES PÊCHES. POURQUOI ET COMMENT ?

Chavance P. et Diallo A.  
(Orstom, B.P. 1984, Conakry, R. de Guinée)

Suite à une période caractérisée par des programmes de recherche diversifiés concernant à la fois l'étude des contraintes biologiques, économiques et sociales du développement de la pêche artisanale en Guinée, le Centre National des Sciences halieutiques de Boussoura, en collaboration avec l'Orstom, s'est orienté vers la mise sur pied d'un système d'information durable sur le secteur de la pêche : l'Observatoire des pêches. Corrélativement à la mise en valeur des multiples connaissances amassées lors de la période écoulée, on attend de ce dispositif une meilleure efficacité de la Recherche (pertinence des programmes, cumulativité des connaissances, amélioration des compétences) et de la Gestion (identification des objectifs de gestion, mise en place des aménagements, respect des réglementations, minimisation des conflits)<sup>1</sup>.

Ne disposant pas sur place de toute l'expertise nécessaire et la notion d'Observatoire en Halieutique revêtant un certain caractère de nouveauté, nous avons fait appel à la collaboration de collègues scientifiques et de gestionnaires en leur posant la série de six questions qui suit :

• Quelles sont, d'après vous et d'après les résultats de vos recherches, les évolutions du secteur de la pêche que vous avez identifiées et qui mériteraient d'être suivies dans le cadre d'un dispositif de type Observatoire ?

• Selon vous, quels sont les indicateurs (variables ou combinaisons de variables) les plus pertinents qui mériteraient d'être collectés de façon récurrente dans le cadre d'un Observatoire des pêches pour une compréhension et un suivi satisfaisant de ces évolutions.

• Selon vous, quels sont les problèmes de Recherche qui constituent éventuellement un obstacle à la mise sur pied d'un dispositif de type Observatoire ? Ou plus à la notion même d'observation continue dans le secteur des pêches ? Et quelles recherches vous semblerait-il nécessaire d'entreprendre en priorité ?

• De quels apports de quelles autres disciplines avez-vous ou auriez-vous besoin dans le cadre d'un tel dispositif ? Pourquoi faire ?

• Pensez-vous qu'un tel dispositif mériterait de suivre une ou plusieurs étapes pour sa mise sur pied ? Laquelle ou lesquelles ? Pourquoi ?

• Partant du rôle de ce dispositif dans le secteur des pêches, quelles sont selon vous les productions (documentations, publications, ...) et services divers que l'Observatoire pourrait fournir ? Pour la Recherche ? Pour les décideurs ?

Sur 78 exemplaires du questionnaire expédiés, nous avons reçu 33 réponses, en grande majorité bienveillantes et nous encourageant dans la voie du projet<sup>2</sup>. Les disciplines les plus

<sup>1</sup> Chavance P. et A. Diallo, 1993. Suivi et compréhension de la dynamique des exploitations halieutiques. Premières réflexions sur la notion d'Observatoire des pêches. Séminaire Orstom/Ifremer, Questions sur la dynamique de l'exploitation halieutique, Montpellier, 6-8/09/1993

<sup>2</sup> Nous remercions tout particulièrement : Andro M., Bouju S., Brethes J.C., Breton Y., Caverivière A., Charles-Dominique E., Chhun B., Cury P., Deme M., Diallo O., Diallo M., Domain F., Doumbourya A., Durand J.R., Ferraris J., Fontana A., Fonteneau A., Garcia S., Gascuel D., Kaba A., Laloë F., Le Fur J., Lesnoit M., Lootvoet B., Milimono R., Morize E., N'Goran Y.N., Pauly D., Ramsay M., Solié K., Traoré S., Troadec J. P., Turgeon J.

interpellées, si l'on en juge par leur taux de réponses respectif, sont, par ordre décroissant, les biostatisticiens, les économistes et les biologistes ; les socio-anthropologues ont été peu nombreux à nous répondre.

## 1. LES EVOLUTIONS PERTINENTES, LES INDICATEURS

Sept évolutions du secteur de la pêche ont paru devoir, en priorité, attirer l'attention de l'Observatoire des pêches. Il s'agit de :

1. **L'environnement.** La productivité du milieu marin et celle des ressources marines sont le résultat d'équilibres dynamiques complexes. Des changements, même subtils, dans les paramètres de base de cet environnement (température, salinité, vents, courants, débit des fleuves, upwelling) peuvent avoir des conséquences notables sur les ressources et leur disponibilité. Ces changements doivent être suivis de façon à pouvoir distinguer, parmi les modifications survenues dans l'état des stocks, celles liées à l'exploitation, susceptible d'être adaptée, et celles d'origine environnementale.

2. **L'état des stocks.** Les ressources exploitées subissent des modifications suite à l'exploitation et l'objet même de la gestion rationnelle des stocks est de permettre de ne prélever sur la ressource qu'une partie de la biomasse produite. L'exploitation induit des changements dans l'abondance des stocks, dans leur structure démographique même et parfois dans leur répartition spatiale. Par le jeu des stratégies de pêche et des espèces cibles des différentes pêcheries, des changements dans les compositions spécifiques sont aussi à attendre. Un suivi de l'état des stocks doit permettre de percevoir ces changements dans l'abondance, la répartition, la composition et la structure de ces stocks.

3. **Les systèmes techniques et les pratiques de la pêche.** La capacité des pêcheurs à prélever la ressource halieutique, et donc à induire des mortalités par pêche peut se modifier de façon importante. Ces changements, s'ils sont incorrectement appréciés, nous interdisent d'évaluer de façon satisfaisante l'impact de la pêche sur les ressources halieutiques. Il est indispensable d'observer ces évolutions qui peuvent également nous interdire de percevoir les modifications en cours dans les conditions économiques et sociales de l'exercice de la pêche.

4. **L'économie de la pêche.** La pêche et toutes ses activités connexes sont des activités à caractère économique. La rentabilité financière des activités liées à la pêche constitue une des clefs de la dynamique du secteur à travers les diverses opportunités d'investissement perçues par les opérateurs. Le secteur des pêches crée une certaine quantité de richesse qui est ensuite répartie, de façon plus ou moins satisfaisante, entre les différents acteurs du système. Ainsi les conditions économiques de la pêche doivent être attentivement suivies : elles constituent le moteur de la dynamique du système.

5. **Les conditions sociales de l'exercice de la pêche.** Les activités liées à la pêche sont pratiquées par différents groupes sociaux, tant au sein du système productif que de la transformation et de la commercialisation. Ces groupes relèvent de logiques identitaires et de fonctionnements qui leur sont propres et entretiennent entre eux des rapports souvent originaux. L'ensemble de ces particularités intra et inter groupes crée des contraintes et des synergies qui déterminent en partie les développements susceptibles d'intervenir dans le secteur. La méconnaissance des conditions sociales des activités liées à la pêche est à l'origine de bien des échecs de projets dans les pays en voie de développement.

6. **La politique sectorielle.** A l'échelle d'un pays, la situation et les possibilités de développement d'un secteur économique tel que la pêche, découlent en bonne partie des options

prisés dans le cadre d'une politique sectorielle. Cette politique s'exprime par des choix affichés de priorités de développement et d'investissements ; des plans d'action conséquents sont parfois identifiés.

7. L'utilisation de l'espace. Les activités liées à la pêche s'inscrivent toutes dans un certain espace (marin ou terrestre) porteur de contraintes et enjeu de multiples concurrences. La dimension spatiale de ces activités (zones de pêche, migrations, circuits de commercialisation, infrastructures...) constitue, de plus en plus souvent, une des clés de l'aménagement notamment à travers le développement des notions d'allocation des ressources et de l'espace, d'aménagement intégré des zones côtières et de gestion des écosystèmes.

La question concernant les indicateurs permettant de suivre ces évolutions est très certainement la plus difficile du questionnaire et méritait, pour y répondre, une réflexion approfondie. Les réponses n'ont pas été totalement satisfaisantes, une liste préliminaire<sup>3</sup> a cependant pu être constituée.

## 2. LES PROBLEMES DE RECHERCHE

L'Observatoire n'a pas vocation première à faire lui-même de la Recherche ; plusieurs personnes ont jugé utile de le préciser très clairement. La notion d'Observatoire, en tant que dispositif à long terme, pose, par ailleurs selon certains, un problème de fond qui peut se résumer de la façon suivante : Sommes-nous en mesure, aujourd'hui, d'identifier de façon satisfaisante les bonnes questions qui se poseront demain ? L'Observatoire, en fixant à un moment donné les critères d'observation d'une réalité complexe, ne favorise-t-il pas une certaine rigidité ? Formulé différemment : on ne peut rechercher que ce que l'on a déjà plus ou moins perçu. Pour remédier à cette possible dissipation de la pertinence de l'Observatoire, avec le temps et l'évolution des connaissances, il est conseillé de veiller à ce que l'Observatoire soit très proche de la Recherche et de la Gestion afin de suivre et intégrer l'évolution progressive des questions que posent chercheurs, gestionnaires et acteurs du secteur. En définitive, il nous semble que ces deux points de vue confirment la vocation essentielle de ce dispositif : le suivi et la compréhension de la dynamique des exploitations halieutiques. L'Observatoire n'a pas vocation à faire de la Recherche mais il est particulièrement proche de celle-ci. Il est, de plus, évident que l'Observatoire constitue un cadre et un appui remarquable pour le développement de recherches et ceci avec un coût marginal modéré ; certaines études ne deviendront possibles que grâce à l'appui de ce dispositif.

Quelques domaines d'études, relevant de la Recherche mais qui intéressent de façon particulière l'Observatoire des pêches, nous ont été signalés :

- Les recherches méthodologiques en statistique, analyse de données, modélisation, informatique et aide à la décision ;
- Les recherches pluridisciplinaires sur le système pêche ;
- Les recherches sur les processus et notamment sur : - les relations entre l'environnement (global ou local, naturel ou anthropisé), la productivité marine et la dynamique des ressources ; - sur les fondements de la dynamique des pêcheries ; - sur la dynamique des écosystèmes halieutiques et - sur les déterminants des fluctuations des ressources instables.

## 3. LES DISCIPLINES NECESSAIRES

L'ensemble des réponses a mis en avant la nécessaire pluridisciplinarité du dispositif dans la mesure où il aborde une diversité de déterminants biologiques, économiques et sociaux du secteur de la pêche. Le cœur de l'Observatoire fait appel aux quatre disciplines, ou champs

<sup>3</sup> Chavance P. et Diallo A., 1995. 2. Une enquête sur la notion d'Observatoire des pêches. Doc. scient. Cent. Nat. Sci. Halieut. Boussoura, 28, 18-29 p.

disciplinaires que sont : - l'écologie, - la biologie et la dynamique des populations exploitées, - l'économie des pêches, - la socio-anthropologie. Par ailleurs, l'excellence technique requise par le dispositif a également été soulignée notamment en matière de collecte, gestion et traitement des données. La statistique et l'informatique sont par conséquent deux disciplines particulièrement impliquées.

#### 4. LES ETAPES

On peut retenir quatre points importants concernant la mise en place de l'Observatoire :  
**Des objectifs clairs.** En tout premier lieu, les objectifs de l'Observatoire doivent être clairement identifiés ainsi que les questions auxquelles il doit permettre de répondre en priorité. Une **dimension appropriée.** Si les objectifs de l'Observatoire et les questions posées doivent être ambitieux, l'attention est attirée sur la nécessité, dès la conception, de correctement dimensionner le dispositif. Il doit notamment être en rapport avec l'importance du secteur dans l'économie nationale. Un **développement progressif.** La démarche la plus sage est une démarche progressive et pragmatique qui consiste, à partir d'un dispositif léger articulé autour de questions simples, en un élargissement progressif du champ de vision de l'Observatoire. En revanche, dès son démarrage, le dispositif devra bien prendre en compte les aspects pratiques (statistiques et informatiques) des fonctions de collecte, gestion et traitement des données ainsi que la fonction de restitution des informations. Les bilans périodiques. La mise en place du dispositif et son développement devra comporter une série d'étapes mesurables.

#### 5. LE TRAITEMENT DE L'INFORMATION ET LES PRODUCTIONS

Trois types de production ont été signalés qui correspondent en fait à trois niveaux successifs du traitement de l'information. Il s'agit d'un premier niveau que l'on peut qualifier de simple compilation de données, d'un second qui produit, lui, des analyses simples et enfin d'un troisième correspondant à des études plus approfondies de nature scientifique. Les avis sont partagés sur le niveau de traitement auquel doit se limiter le dispositif. En fait, si l'Observatoire est unanimement perçu comme un dispositif d'appui à la fois à la Recherche et à l'Administration, ses types de production dépendront de l'appui qu'il est souhaitable d'apporter respectivement à ces deux composantes dans le contexte national où il s'inscrit.

#### 6. L'ORGANISATION

L'Observatoire devra être basée sur une organisation et un fonctionnement qui assurent une forte implication de ses utilisateurs, l'Administration, la Recherche et la Profession. Cette implication est la meilleure garantie d'un retour d'information de qualité vers les utilisateurs, d'une bonne acceptabilité des avis et d'une (re)vitalisation des systèmes de collecte de données.

#### 7. CONCLUSION

Cette enquête auprès de scientifiques et gestionnaires nous a permis de noter la grande cohérence des réponses entre elles. Des contradictions nombreuses nous auraient fait douter du bien fondé de l'approche ou tout au moins de son opérationnalité. Ces contradictions sont rarissimes et ne concernent, nous l'avons vu, que le niveau de traitement de l'information par l'Observatoire. La pratique devrait maintenant nous permettre de préciser et approfondir nombre de ces points.

# **Système d'information et interdisciplinarité : la base de données relationnelle ECORDRE et ses applications en milieu marin**

**Patrick SILAN \*, Patricio SOTO \*\*, Eve Le POMMELET \*, Hervé CALTRAN \***

*\* URA CNRS 698, Équipe "Dynamique des Populations Parasitaires et Epidémiologie Marine", Université Montpellier II, Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral, 1 Quai de la Daurade, 34200 SETE. Courrier électronique : silan@univ-montp2.fr*

*\*\* INRA, Laboratoire de Zooécologie du Sol, CEFE-CNRS, 1919 route de Mende, BP 5051, 34033 Montpellier cedex 1. Courrier électronique : soto@msdos.montpellier.inra.fr*

Le SIT (Système d'Information Transdisciplinaire) ECORDRE a pour vocation de structurer, de gérer des données environnementales de différentes origines disciplinaires, de faciliter leur accès et pérenniser leur existence. Pour ce faire, plusieurs unités appartenant au pôle Agropolis (Montpellier-Sète) se sont fédérées afin de développer une démarche conceptuelle commune.

L'information biologique, physique ou chimique est caractérisée par ses composantes dans l'espace et le temps, les motivations d'acquisition et les techniques d'étude. L'ensemble répond aux exigences des systèmes de gestion de bases de données relationnelles normalisées.

Les outils informatiques mis en oeuvre ou en cours de développement sont variés :

- gros système (Centre National Universitaire Sud de Calcul, MVS, SGBDR DB2), station (Unix, SGBDR SYBASE), microinformatique délocalisée (PC, Mac) et liens télématiques associés (RENATER, RAC);
- interface avec des logiciels d'analyse de données et de modélisation (statistique, mathématique, infographie et imagerie de synthèse...);
- environnement multimédia et serveurs (WWW, Mosaic ...)

Plusieurs applications relative à l'agronomie (viticulture, riziculture, machinisme agricole et physique du sol...) et à l'écologie (pédologie, parasitologie, botanique, ornithologie...) ont été développées (INRA, CNRS, ENSAM, CEEMAT-CIRAD...).

L'une d'elles a trait à l'écologie parasitaire en milieu marin. Sa structure et ses enjeux sont présentés.

## LE MONTAGE D'UN SYSTEME DE SUIVI EN HALIEUTIQUE CONTINENTALE: UTILITE DE L'APPROCHE "SYSTEME D'INFORMATION"

Pierre MORAND<sup>1</sup>, Yveline PONCET<sup>2</sup> et Tiema NIARE<sup>3</sup>

1: chercheur Orstom, Laboratoire d'Hydrobiologie, BP 47 Mopti (Mali)

2: chercheur Orstom, Centre Orstom, BP 2528 Bamako (Mali)

3: chercheur IER, Laboratoire d'Hydrobiologie, BP 47 Mopti (Mali)

Parmi les recommandations faites par les chercheurs du programme "DCN" dans le dernier chapitre de leur ouvrage de synthèse (*La pêche dans le Delta Central du Niger*, Quensière ed. sc., 1994) figure en bonne place la nécessité de mettre en place un organe de suivi permanent du secteur de la pêche au Mali, organe dont l'utilité majeure serait de "détecter les dysfonctionnements dès que ceux-ci apparaissent (...) [et] contrôler l'adéquation des aménagements effectués pour répondre à ces dysfonctionnements" (*ibid*, p. 445).

Essayer de mettre en oeuvre cette recommandation, c'était accepter le défi de la construction d'un outil finalisé doté de qualités bien particulières, parmi lesquelles les trois plus importantes nous ont semblé être:

- la capacité à ne pas manquer "l'essentiel", et notamment ce qui est utile à la détection et à la compréhension des changements qui affectent le secteur pêche dans le Delta Central du Niger.
- la capacité à fournir des données autorisant des comparaisons objectives dans le temps et dans l'espace (et notamment avec d'autres régions de pêche, en Afrique ou ailleurs).
- la capacité à durer «longtemps».

C'est l'obtention effective de cette "capacité à durer" qui se présente comme la plus problématique, car elle suppose que l'on intègre avec succès trois contraintes: utiliser des compétences permanentes, donc nationales; monter un dispositif léger plutôt que lourd (pour minimiser les coûts récurrents); faire en sorte que le dispositif créé soit adaptable au changement.

Pour parvenir à réaliser ces ambitions en intégrant ces contraintes, on bénéficie cependant de deux atouts majeurs:

- l'abondance des connaissances thématiques, acquises au cours du programme de recherche "DCN" (1986-1992) (*ibid*)
- la disponibilité, aujourd'hui, d'un corpus méthodologique puissant, regroupé en bonne partie sous la bannière "Système d'Information" - et dont la méthode MERISE est en fait la mise en pratique.

C'est ce second atout qui retiendra ici notre attention, et nous décrirons notamment ce qu'il nous apporte pour mener à bien notre projet actuel de montage d'un système de suivi.

Mais tout d'abord, rappelons que le concept fédérateur de "Système d'Information" (S.I.) désigne l'ensemble des méthodes qui permettent d'assurer une bonne communication de l'information (au sens de "données") dans l'entreprise. Ici, "l'entreprise" est un observatoire en création, et ces agents sont les chercheurs/experts thématiques d'une part, les enquêteurs, les informaticiens et les statisticiens d'autre part. Il s'agit en particulier d'assurer une bonne adéquation entre, d'une part, ce dont ont besoin les premiers pour produire des analyses pertinentes et solides et, d'autre part, ce que peuvent leur fournir les seconds. L'avantage de cette notion de S.I. est d'être bien plus englobante que la notion de base de données et de déborder largement, d'ailleurs, du monde de l'informatique; ainsi,

nous considérons que des opérations manuelles ou "de terrain", comme la collecte de l'information, en sont partie prenante. La démarche "Système d'Information" consiste d'abord à reconnaître une norme unique pour décrire et structurer l'information, que se soit en entrée du dispositif (la collecte des données) ou en sortie (lors de la restitution de résultats plus ou moins élaborés). Cette norme internationalement reconnue est la norme ERA (Entity Relationship Approach), et elle est basée sur les trois notions respectives d'objet (ou entité), de propriété (ou attribut, variable) et de relation, l'ensemble formant les briques de construction du « modèle conceptuel de données ».

Le premier mérite d'une telle norme est de chasser la redondance, la synonymie et la polysémie, qui sont autant de dangers omniprésents lorsque l'on doit rassembler l'information et les concepts produits par différentes disciplines thématiques. Mais nous allons voir que l'application de la démarche "S.I." à la construction d'un système de suivi entraîne bien d'autres clarifications.

Ainsi, on lit souvent (voir notamment l'ouvrage "Stratégie d'échantillonnage", Frontier, 1983) que le point de départ de tout échantillonnage est un "modèle conceptuel". Or, nous avons vu que dans la théorie "S.I.", cette notion existe sous une définition bien précise: le "modèle conceptuel de données". Nous avons donc tenté l'application de cette modélisation normée ERA à notre projet de suivi de la pêche, et nous avons eu alors la « révélation » suivante: ce n'est pas un seul modèle conceptuel de données que l'on peut définir autour d'un système tel que la pêche mais plutôt trois:

(1) un modèle conceptuel de données du système lui-même (calqué sur les objets du système concret, avec leurs relations et leurs caractéristiques: le poisson, le fleuve, la pirogue, le pêcheur, la plage de débarquement, le lot de poissons capturés ...)

(2) un modèle conceptuel de données du "système de résultats et connaissances" que l'on peut produire sur la pêche. Ce modèle est calqué sur le format de la connaissance (ses objets et ses variables). Et si ces objets sont parfois concrets, c'est-à-dire puisés directement dans le système réel, ils peuvent aussi être construits et donc plus ou moins abstraits: l'unité de production-consommation, le cycle annuel d'activités, la saison de pêche, la sortie de pêche, le bilan budgétaire annuel... Ce second modèle conceptuel de données sera qualifié par nous de "modèle de restitution".

(3) un modèle conceptuel de données de « la prise d'information »: là encore, des objets "artefacts" existent et viennent côtoyer ou englober les objets du système concret: l'opération d'échantillonnage, le lot échantillonné... Nous qualifierons ce troisième modèle de données de "modèle d'acquisition".

A partir de cette distinction, nous soutenons ici la position suivante: concevoir un dispositif de suivi pour un système complexe comme la pêche, c'est forcément partir du second modèle (le modèle de restitution) et rechercher quelle est la configuration du troisième (le modèle d'acquisition) qui permettra de bien l'alimenter. [Soit dit en passant, nous laisserons aux dynamiciens les plus audacieux le soin d'expérimenter l'usage du premier !]

Nous commencerons donc par le modèle de restitution, qui est la présentation normée ERA de la structure logique des sorties de requêtes (fichiers extraits, indicateurs, tableaux...) dont ont besoin les utilisateurs et experts pour mener à bien leurs analyses, c'est-à-dire pour supporter leurs interprétations et leurs diagnostics. Prendre pour point de départ le modèle de restitution est une nécessité facile à comprendre si l'on rappelle que l'étude d'un système complexe (comme l'est la pêche) ne peut se faire autrement qu'en suivant une approche explicitement cognitive - c'est-à-dire qui part et qui revient à des représentations et à des connaissances. En effet, les systèmes de ce genre ne sont pas entièrement appréhendables selon un seul plan de décomposition (voir notamment Le Für, in 1er Forum Halieumétrique, 1993): ainsi s'éloigne le rêve du système-pêche réduit en un unique schéma indiscutable, traduction de l'adéquation parfaite de la représentation du système au système lui-même. Du même coup s'envole aussi l'espoir d'une observation optimale du système à l'aide de

capteurs judicieusement disposés, lesquels, après quelques traitements, transmettraient à un joli "tableau de bord" la totalité de l'information nécessaire à la connaissance de l'état et de la dynamique du système. Renoncer à un tel rêve, c'est simplement tirer les conséquences du fait que la pêche n'est pas une machine à vapeur! Il faut admettre au contraire que le modèle de restitution *soit* pour nous un agencement de multiples sous-modèles disciplinaires, tous imparfaits, admettant entre eux des chevauchements et des intersections sans que l'on puisse pour autant exclure l'existence de lacunes. Ces multiples sous-modèles sont en fait l'expression logique des différents plans de décomposition adoptés par les disciplines pour appréhender le système concret: nous dirons qu'ils constituent autant de « vues d'expert ». Autrement dit, le modèle de restitution est à l'image de la connaissance que l'on peut avoir d'un système complexe, et c'est pourquoi il ne peut tendre ni à l'exhaustivité ni à la parcimonie. Mais il doit par contre viser l'utilité, en étant tourné de façon très pragmatique vers les demandes et les besoins des différents types d'utilisateurs (décideurs, opérateurs du développement ou chercheurs de différentes disciplines).

Et c'est pourquoi le modèle de restitution est, par excellence, l'outil privilégié de la communication entre le méthodologiste et le thématicien. C'est donc bien lors de sa conception que peuvent germer les meilleures idées, celles qui organiseront et simplifieront la construction de l'ensemble du système de suivi. Ainsi, l'examen attentif des variables et des échelles d'analyse employés par les chercheurs de l'équipe « DCN » nous a conduit à identifier deux "noyaux" à haute densité de résultats (analyses et interprétations), noyaux autour desquels on a pu rassembler plusieurs « vues d'expert ». On distinguera ainsi:

- un noyau "échanges et environnement économiques X échelle régionale" qui rassemble les « vues » de l'économie des échanges: commercialisation, marché, approvisionnement en crédit, en engins et en bois de fumage.
- un noyau "processus de production X échelle locale-territoire", qui rassemble les « vues » de la micro-économie, de l'écologie des milieux, de l'halieutique et de l'anthropologie.

On voit que ces deux noyaux sont le résultat d'une forte corrélation entre les objets et variables de certains thèmes disciplinaires d'une part et les échelles pertinentes pour les agréger et les analyser d'autre part. [Précisons cependant que la distinction de ces deux noyaux nous paraît très liée aux particularités du Delta Central du Niger et n'est donc probablement pas généralisable à d'autres régions de pêche.]

Tout comme le modèle de restitution que nous venons d'évoquer, le modèle conceptuel d'acquisition est un modèle conceptuel de données (normé ERA). Le premier critère de sa conception est qu'il puisse fournir tout l'information nécessaire pour alimenter (à travers toute une série de processus de traitements) le modèle de restitution. Il en découlera parfois certains airs de famille avec celui-ci, comme par exemple (dans notre cas) la reprise de l'organisation autour de deux noyaux thèmesXéchelles. Cependant, dans le détail, sa structure est toute autre: ses objets, variables et relations sont dans une large mesure différents de ceux du modèle de restitution, puisqu'il doit intégrer les trivialités artefactuelles que sont les actions de collecte, lesquelles fournissent autant d'objets spécifiques. En fait, ce modèle conceptuel d'acquisition va s'incarner à deux reprises, aux deux étapes successives de l'acquisition:

- sur le terrain, à travers les questionnaires et dans le dispositif de collecte, après avoir pris en compte les possibilités et les contraintes de la statistique et de l'organisation humaine et technique de la collecte (plan d'échantillonnage).
- puis dans l'archivage, c'est-à-dire lors de la saisie informatique des données (brutes) et de leur stockage sous forme d'une base de données géoréférencée.

Il faut préciser que l'optimisation de la conception de l'acquisition/archivage (et du modèle qui les sous-tend) répond à des critères bien particuliers, assez différents de ceux du modèle de restitution. Voici deux de ces différences:

(1) le fait que le modèle d'acquisition soit orienté vers la prise d'information, c'est-à-dire vers des opérations "matérielles" et donc coûteuses, oblige à accorder une attention considérable au respect du critère de parcimonie (ou du moins de "non-redondance") car il serait absurde de récolter deux fois la même information. [Alors que deux « vues d'expert » du modèle de restitution peuvent se recouper ou se chevaucher sans que l'on n'y voit le moindre inconvénient !] C'est cette logique d'économie dans la collecte qui fait d'ailleurs l'intérêt d'un observatoire « centralisée » relativement à l'amoncellement d'une multitude d'enquêtes séparées.

(2) la nécessaire prise en compte des contingences que sont la disponibilité en ressource humaine (agents de collecte), les moyens logistiques mobilisables et les contraintes institutionnelles (surtout si plusieurs organismes sont impliqués) conduit à exclure tout espoir d'universalisation d'un modèle d'acquisition précis - si ce n'est au-delà de quelques grands principes directeurs. Ainsi, dans le cas du Delta Central, la conjonction d'une double disponibilité humaine très contrastée, avec d'une part des agents de niveaux moyens mais présents en permanence sur le terrain (de par leur fonction) et d'autre part des techniciens biologistes basés à Mopti, peu nombreux mais de haute compétence, nous a incité à découpler très fortement l'échantillonnage des effectifs de pêcheurs et de leurs activités (d'une part) de celui des captures (d'autre part). Mais un tel découplage n'a d'intérêt que dans ce contexte particulier ! En conséquence, les programmes de saisie, qui constituent l'expression informatique du modèle d'acquisition, devront nécessairement être développés de façon spécifique, et cette remarque nous semble valable de façon très générale (*i.e.* pour tout projet de ce genre).

Il apparaît donc clairement que les conceptions respectives du modèle de restitution (d'une part) et du modèle d'acquisition (d'autre part) obéissent à des logiques différentes. Lorsqu'il s'agira de passer à la phase de développement informatique, on aura intérêt à les traiter comme deux sous-projets relativement autonomes: le premier sera élaboré avec l'aide des experts thématiques, le second avec celle du statisticien d'enquête.

Par ces quelques considérations, nous avons voulu suggérer que les sciences de l'information, et en particulier l'approche « S.I », pouvaient apporter un éclairage nouveau sur les difficultés (si triviales mais si tenaces !) qui accompagnent systématiquement la collecte, la gestion et le traitement de grandes quantités d'information, et sur la façon dont ces difficultés peuvent être dépassées. Ce recours aux sciences de l'information nous semble indispensable pour remédier aux déficits de cohérence thématique et technique qui sont régulièrement déplorés à propos des réalisations de type "observatoire" ou SIG. Mais il est clair aussi que tout cela ne devient possible que si le méthodologiste, informaticien ou statisticien, parvient à sortir de la logique des interventions « au coup par coup » et à faire reconnaître la valeur de son « indiscipline ».

## **II<sup>e</sup> FORUM HALIEUMETRIQUE NANTES, Juin 1995**

### *Résumé de communication*

#### **DANS UN SYSTEME D'INFORMATION ACQUISITION- RESTITUTION, LA LOCALISATION CONSTITUE-T-ELLE UN CAS PARTICULIER ?**

***Yveline PONCET, ORSTOM Bamako (Mali),  
Pierre MORAND, ORSTOM Mopti (Mali)***

Le projet de création d'un *Observatoire de la Pêche sur le Delta Central du Niger (Mali)* suscite un ensemble de réflexions thématiques et méthodologiques communes à des disciplines différentes pourvues d'orientations et de problématiques complémentaires. Dans la présentation précédente, nous nous interrogeons sur les modèles d'information adaptés aux contraintes du projet d'observatoire, en mettant l'accent sur celles qui sont liées au temps et à la nécessaire continuité de l'ensemble des opérations. Nous nous interrogeons ici sur les caractères particuliers que donnent à la conception du système global d'information le fait que les informations sont obligatoirement et systématiquement localisées pour constituer un système d'information géographique.

On ne rappellera pas ici l'intérêt scientifique qu'il y a à matérialiser les localisations dans un milieu continental, où l'espace est continu, hétérogène et partout significatif. Dans le cadre spécifique des opérations de recherche sur le système de production halieutique dans le Delta Central, la spatialisation des phénomènes est liée à cette nécessité objective, ainsi qu'aux besoins en information de l'*Observatoire de la Pêche*, dont l'opération de suivi entretient avec le système d'information géographique des relations bi-univoques de production et d'acquisition d'information.

Fournir des informations rapportées aux espaces implique absolument que ces informations soient *localisées*, et que leur échelle soit maîtrisée. Si la localisation n'est pas toujours facile (mais elle est théoriquement résolue par toute une série d'outillages et de repérages élémentaires), c'est la maîtrise de l'échelle qui pose le plus de problèmes à l'opérateur. En effet, l'échelle d'acquisition (disons mieux : *le niveau d'acquisition de l'information*) dépend directement des intentions ou obligations de restitution: c'est le modèle de fonctionnement "ordinaire" de la cartographie, qui est l'un des modes de restitution de l'information localisée. Dans ce cas, le modèle de restitution détermine le modèle

d'acquisition, et l'on peut considérer que les deux ne font qu'un. On prendra garde qu'ici, *niveau* ou *échelle de restitution* ne signifie pas échelle de la ou des cartes produites, mais *niveau d'agrégation spatiale*, "grain" géographique en quelque sorte. S'il est facile, sous certaines conditions, d'*agréger* les informations correspondant à des mailles petites pour obtenir des mailles plus grandes, il est impossible (ou l'on va s'interdire de le faire) de *désagréger* des mailles jugées trop grandes. Or, si le modèle ci-dessus est valide en cartographie "classique" (informatisée ou non), l'est-il dès lors que l'on se place dans un système d'information géographique ? Les produits ne sont pas nécessairement cartographiques, et utiliser un SIG "seulement" pour faire des cartes est une sous-utilisation de ses capacités.

Si l'on considère en effet que les modèles d'information "acquisition" et "restitution" sont identiques et confondus, c'est la problématique qui va définir le grain géographique du modèle. Pour donner un exemple, on considère que les problématiques de la relation entre milieu naturel (eau, sol, végétation) et système de production pêche dans le Delta Central du Niger ne peuvent être traitées (analysées, restituées) à un niveau dimensionnel inférieur à celui des pêcheries. Le grain géographique du modèle d'information va donc être celui qui permet d'individualiser et d'analyser localement chaque pêcherie. On notera au passage que, *au même niveau*, certaines pêcheries sont sur le plan dimensionnel assimilables à des points (dimension négligée) et que d'autres sont assimilables à des zones (c'est à dire pourvues de périmètre, superficie et forme), ce qui ne simplifie pas les choses.

Si l'on considère au contraire que les modèles d'information "acquisition" et "restitution" sont dissociables, la qualification du système d'information géographique - en termes de précision/exactitude et de capacité à *catalyser* les problématiques - sera celle "de la plus petite maille commune" de l'ensemble des acquisitions localisées. Il est visible que dans ce cas, certaines problématiques spatiales ne pourraient pas être traitées si la maille commune est trop grande.

Dans les travaux de SIG sur la pêche dans le Delta Central, nous avons rencontré et résolu séparément les deux cas de figure.

a) Sur le Delta Central tout entier, acquisition et restitution sont pilotées en même temps, seule une gamme limitée de niveaux est disponible, et l'agrégation est relativement importante : pour citer un exemple chiffré, les données sont stockées aux échelles compatibles avec une restitution cartographique au 1/500 000. Les problématiques scientifiques que cette base peut traiter sont relativement limitées, en raison justement du niveau élevé d'agrégation géographique.

b) Pour agrandir le champ des problématiques, nous avons dû construire séparément un système dans lequel l'agrégation géographique et le niveau des objets attributs sont beaucoup moins élevés : alors que dans

le premier cas (l'ensemble du Delta), l'action de "pêche" est localisée (c'est à dire indexée, codée) à travers les *habitats* des pêcheurs, dans le second cas l'objet "pêche" est localisé à travers les *lieux de pêche*. L'agrégation des données géographiques est compatible avec l'échelle 1/50 000, ce qui est tout à fait différent de l'exemple précédent. La seconde base est thématiquement beaucoup plus riche et prometteuse pour les problématiques scientifiques halieutiques. Mais il est bien évident qu'on se heurte au problème de son extension à l'ensemble de l'espace continu du Delta Central : les informations à ce niveau d'agrégation paraissent impossibles à acquérir autrement que sur des échantillons géographiques, et le volume d'une telle base d'information (toutes les données thématiques doivent y être inscrites aux niveaux compatibles) serait difficile à traiter *in extenso*.

Incidemment, ceci introduit à deux problèmes (non développés ici) :

- celui de la notion d'échantillonnage dans une base de données géographique,
- celui de la compatibilité des niveaux (ou si l'on veut, des échelles) des objets inscrits dans un même système d'information : ce sujet a été abordé à la réunion sur l'halieutique de Montpellier en septembre 1993.

Bamako, le 3 avril 1995

Deuxième Forum Halieumétrique  
Nantes, 29-28 juin 1995

**Répartition spatiale de l'effort de pêche aux nasses  
dans une pêcherie artisanale de récifs (Martinique)**

Bertrand Gobert et Jean-Yves Stanisière

Centre ORSTOM de Brest  
BP 70  
29280 Plouzané

Résumé

Aux Antilles, les ressources démersales côtières sont exploitées par des engins passifs parmi lesquels les nasses (casiers) en grillage occupent une place prépondérante par rapport aux filets et aux lignes. Dans ces pêcheries artisanales et atomisées, l'effort de pêche est en général très mal connu en raison de la difficulté du recueil des données adéquates ; en outre, dans les rares situations où il a pu être quantifié, on a dû considérer qu'il s'exerce de façon globale et uniforme sur la ressource. Or la répartition spatio-temporelle de l'effort est un élément important de la compréhension des rapports entre ressource et exploitation ; dans nombre de pêcheries récifales, l'aspect spatial revêt une importance particulière parce que les biotopes exploités (et les densités des peuplements de poissons) sont très hétérogènes et parce que l'effort de pêche peut être très peu mobile à cause du volume des engins (nasses) et des moyens disponibles (embarcations de petite taille dépourvues de moyens de relevage mécanique).

L'analyse repose sur des données recueillies en mer sur la position précise des nasses repérées en surface par un flotteur, et sur des indices de relief du fond obtenus à partir des levés bathymétriques détaillés du plateau insulaire du Sud-Est de la Martinique. Les observations de flotteurs et les indices de relief ont été discrétisés au sein de « carrés » de 0,1' de côté (185x179 m).

La répartition spatiale de l'effort de pêche des nasses apparaît différente selon qu'elles sont calées à l'intérieur ou à l'extérieur du récif barrière qui s'étend du Nord au Sud du secteur. A l'intérieur du récif, la quasi-totalité des nasses sont calées le long des tombants qui bordent le secteur, vers la côte ou vers le récif barrière, avec une proportion très faible dans la partie centrale, où les fonds sont meubles et de relief plus uniforme. A l'extérieur du récif, les nasses ont une distribution contagieuse, mais celle-ci est pratiquement indépendante de celle du relief (corrélation très faible entre séries d'observations individuelles d'effort de de relief); par contre, les moyennes d'indices d'effort et de relief calculées par tranche bathymétrique de 5 m sont très significativement corrélées, avec un maximum entre 15 et 25 m qui correspond aux « bancs » qui s'étendent sur la pente externe parallèlement au récif barrière. Ce double schéma de répartition spatiale souligne l'importance du relief du fond dans ce type de pêcherie, mais aussi les contraintes

qui s'opposent à son exploitation. A l'intérieur du récif, où la mer est calme et la côte proche, le positionnement des nasses le long des tombants ne pose aucun problème, et il n'est même pas toujours nécessaire de les signaler par une bouée en surface. A l'extérieur du récif au contraire, les conditions de travail sur de petites embarcations ne permettent pas d'assurer un positionnement précis des nasses : la mer est toujours houleuse avec des creux dépassant souvent 2 m, les courants sont violents, l'eau n'est jamais très claire, et la distance à la côte rend difficile l'utilisation précise des amers et alignements à terre.

Ces résultats obtenus dans un contexte géographique et halieutique précis permettent d'approfondir la discussion plus générale sur l'intérêt des données d'effort et de production par unité de surface et sur leur interprétation dans une démarche d'évaluation du niveau d'exploitation des ressources récifales.

**Evaluation des ressources démersales en Méditerranée :  
organisation d'un système de suivi par campagnes de chalutage  
(programme MEDITS)**

Jaques BERTRAND  
IFREMER Sète

# **SESSION II**

## **ANALYSE DE L'INFORMATION**

# **Un regard sur l'analyse de l'information en halieumétrie**

**Camille DUBY  
Insitut National Agronomique  
PARIS**

# Modèles Linéaires Généraux ?

Francis Laloë<sup>a</sup>

## Introduction

Le recours au modèle linéaire est extrêmement fréquent pour l'analyse des données dans l'étude des pêches. Un exemple typique est le modèle de Robson (66) pour l'analyse des puissances de pêche, modèle qui a depuis été adapté, tenant compte de sources de variations plus nombreuses, en particulier pour rendre compte d'éventuels changements de capturabilité dans le temps.

Le modèle de Robson est très intéressant comme illustration de plusieurs aspects de l'usage d'un modèle linéaire.

- L'écriture d'un modèle, les suppositions associées à sa formulation.

Un modèle linéaire se présente en général sous la forme d'une description des distributions des variables aléatoires dont les observations sont des réalisations. Une partie du modèle concerne la description de l'espérance de ces variables, sous la forme de combinaisons linéaires de paramètres. L'autre partie est relative à la description de la densité des variables aléatoires.

Le modèle linéaire gaussien se présente donc généralement sous la forme :

$$Y = X \times \theta + \varepsilon$$

où  $X \times \theta$  est l'espérance des  $Y$  et où  $\varepsilon$  est un vecteur de variables aléatoires gaussiennes indépendantes de moyenne nulle et de mêmes variances  $\sigma^2$ . Cette équation générale est considérée a priori comme admise, les tests ne portant que sur une caractérisation (simplification) de  $X \times \theta$  avec bien sûr l'estimation de  $\theta$  et de  $\sigma^2$ .

- L'écriture d'un modèle inféodée à une question précise.

Dans le cas du modèle simple de Robson, l'écriture est entièrement inféodée à une conjecture, selon laquelle une unité de pêche a une puissance de pêche constante pouvant être définie selon un rapport de ses rendements moyens et de ceux obtenus par une unité étalon (standard). Cette idée conduit de façon naturelle à un modèle de type :

$$Y_{ik} = \log(R_{ik}) = m + \alpha_i + \varepsilon_i$$

où  $Y_{ik}$  est la variable aléatoire dont le logarithme de la  $k^{\text{ième}}$  observation auprès de l'unité  $i$  est une réalisation. On peut compliquer ce modèle selon l'expression

$$Y_{ik} = \log(R_{ik}) = m + \alpha_i + \beta_k + \varepsilon_i$$

où  $\beta_k$  est un effet associé aux caractéristiques spatio temporelles de l'observation. Il est également possible de considérer une décomposition de la variabilité spatio-temporelle selon

---

<sup>a</sup>HEA, Centre Orstom de Montpellier, BP 5045, 34032 Montpellier Cédex 1

des effets principaux spatiaux et temporels avec une éventuelle interaction entre eux et de tester la nullité des diverses composantes de cette décomposition.

Le problème est ici que la question posée conduit à ne pas accepter l'idée d'existence d'interactions faisant intervenir les unités de pêche. En effet si ces interactions existent, on ne peut plus justifier de caractériser les unités de pêche selon des puissances qui ne reflètent qu'une source principale de variation. Si l'on désire extraire toute l'information de la situation rencontrée, une unité de pêche devrait être décrite par ces puissances, conditionnellement aux diverses conditions rencontrées.

Il existe diverses méthodes permettant d'évaluer la validité d'un modèle. La disponibilité d'outils logiciels conviviaux devrait permettre de nos jours de mettre en œuvre ces méthodes de façon systématique et d'explorer les voies de recherches intéressantes ouvertes dans les cas où le modèle de Robson est rejeté.

- L'usage de la transformation logarithmique est imposé a priori par la forme de la question posée (combien de fois une unité de pêche pêche-t-elle plus qu'une autre ?). Mais cette transformation est parfois aussi justifiée par la forme dissymétrique de la distribution de des rendements de pêche. Cet argument n'est peut être pas toujours justifié et le recours aux modèles linéaires généralisés pourrait être de nature à résoudre ce problème.

Ainsi par exemple, si les rendements sont distribués selon des variables gaussiennes, il est possible de prendre le modèle :

$$Y = \exp^{X \times \theta} + \varepsilon$$

en choisissant la fonction de lien désirée. Ces modèles sont capables de représenter bien d'autres formes de distributions telles que les distributions Gamma par exemple.

- Le point sur lequel ce tour d'horizon pourrait s'achever porte sur la nature des modèles choisis pour représenter la variabilité des rendements observés. Ainsi les modèles ajustés considèrent toujours des facteurs de variation "à effets fixes". Nous nous proposons à l'aide de quelques exemples issus de simulation de discuter les différences entre modèles considérant des effets spatio-temporels aléatoires ou fixes, selon principalement la connaissance que peuvent avoir les pêcheurs des "qualités" associées aux diverses modalités des choix à leur disposition.

En effet, la variabilité spatio-temporelle devrait être représentée selon des effets fixes ou aléatoires selon que les pêcheurs ont une connaissance "parfaite" ou au contraire "nulle" des effets associés aux diverses strates spatio-temporelles.

## **Modèle linéaire généralisé, application aux effets des conditions climatiques sur les Captures par Unité d'Effort de Saumon et d'Alose dans un estuaire.**

Jacques. BADIA, INRA - Unité de Biométrie et d'Intelligence Artificielle BP 27 - Castanet Tolosan Cedex.

Patrick PROUZET, IFREMER/INRA - Station d'Hydrobiologie de St-Pée sur Nivelle BP 3 64310 Saint - Pée sur Nivelle

François - Xavier CUENDE, Institut des Milieux Aquatiques Plateau de l'Attalaye 64200 Biarritz.

Pour étudier la relation de causalité entre une variable à expliquer de la famille exponentielle et des variables explicatives par une technique de régression, on utilise la théorie du modèle linéaire généralisé. Cette théorie basée sur la modélisation de la loi de probabilité de la variable à expliquer permet :

- de formaliser le lien entre les paramètres de la loi et un prédicteur linéaire ;
- d'estimer les paramètres ;
- de faire de l'inférence.

Différentes modélisations sont possibles, elles dépendent de la nature des observations (loi de distribution, indépendance, surdispersion,...). Pour illustrer ces différents problèmes, nous prenons comme exemples, l'étude des relations entre les CPUE de saumon atlantique ou d'alose (variable à expliquer) et le débit fluvial et le coefficient de marée (variables explicatives) à l'embouchure de l'Adour. Les principaux résultats obtenus montrent l'influence combinée des conditions de débit et de coefficient de marée sur l'abondance des captures journalières de ces deux espèces et l'action généralement favorable des contrastes hydrologiques (coïncidence des forts coefficients de marée et des débits élevés). Des variations sont bien évidemment observées selon ces espèces et la période de l'année : rôles prépondérants du coefficient de marée pour le saumon de printemps et l'alose et du débit fluvial pour les saumons remontant en été.

Les analyses précédemment effectuées se sont faites à partir de tableaux de contingences construits par la classification d'observations moyennes des CPUE<sup>1</sup>. Cependant, chaque jour de pêche, les captures par unité d'effort se font sous des conditions fixées de débit fluvial et de coefficient de marée, leur importance peut varier d'un pêcheur à l'autre suivant le moment de la pêche, d'un jour à l'autre en raison des fluctuations des remontées. Pour chaque pêcheur, l'ensemble des captures par unité d'effort constitue un profil. Comment peut-on prendre en compte cette particularité des observations, peut-on l'ignorer ?

---

<sup>1</sup> Pour chaque pêcheur, la zone de pêche, le poids des captures ainsi que l'effort développé exprimé en nombre de sorties ont pu être obtenus journalièrement. A partir de cette base de données, les captures moyennes journalières par sortie ont pu être calculées pour chaque pêcheur.

# Estimation des puissances de pêche

François Gauthiez

(IFREMER, Laboratoire MAERHA, BP 1105, 44311 Nantes cédex 03)

2 avril 1995

Une revue des méthodes actuelles d'estimation des puissances de pêche montre que, dans le cas général, la formulation statistique du problème ne se base pas sur une analyse des processus mis en jeu mais plutôt sur une contrainte de simplicité du modèle. On se propose ici de formuler d'une façon simple les processus les plus importants dans la constitution de l'observation de base qu'est la capture, dans le cadre du chalutage de fond. Dans un premier temps on s'intéresse à la capture réalisée par un navire de recherche, supposé pêcher au hasard. Deux éléments fondamentaux interviennent:

- Une hypothèse essentielle consiste à supposer que l'arrangement dans l'espace des poissons est la principale source de variabilité des captures. On suppose précisément que les poissons sont répartis en agrégats. Dès lors on peut envisager des modèles simples décrivant le nombre  $N$  de poissons présents dans l'aire balayée par un chalut:

$$N = \sum_{i=1}^B X_i, \quad (1)$$

où  $B$  est un nombre d'agrégats et  $X$  est le nombre d'individus par agrégat ( $N$ ,  $B$  et  $X$  sont des variables aléatoires).

- D'autre part, on adopte comme définition de la puissance de pêche que c'est une capturabilité (i.e. une probabilité de capture, notée  $\alpha$ ), pouvant éventuellement varier d'un navire à l'autre. Alors la capture peut se décrire comme une variable binomiale conditionnellement à une valeur  $n$  prise par  $N$ :

$$C/(N = n) \sim \mathcal{B}(n, \alpha). \quad (2)$$

L'emplacement du trait de chalut étant sélectionné au hasard dans une certaine zone, la capture est proportionnelle en espérance à l'abondance dans cette zone. En revanche, la variabilité de cette capture peut prendre des formes diverses selon les hypothèses que l'on fait sur le processus d'agrégation. Diverses échelles interviennent. A une échelle locale, pour une abondance locale donnée, à un schéma d'agrégation correspond un profil de variabilité des captures (voir la figure 1). Mais il apparaît que l'élément déterminant, pour les besoins d'un calcul d'indices d'abondance ou de puissances de pêche, est la dépendance des schémas vis-à-vis de l'abondance locale. Cette dépendance se traduit, au niveau de la capture, par

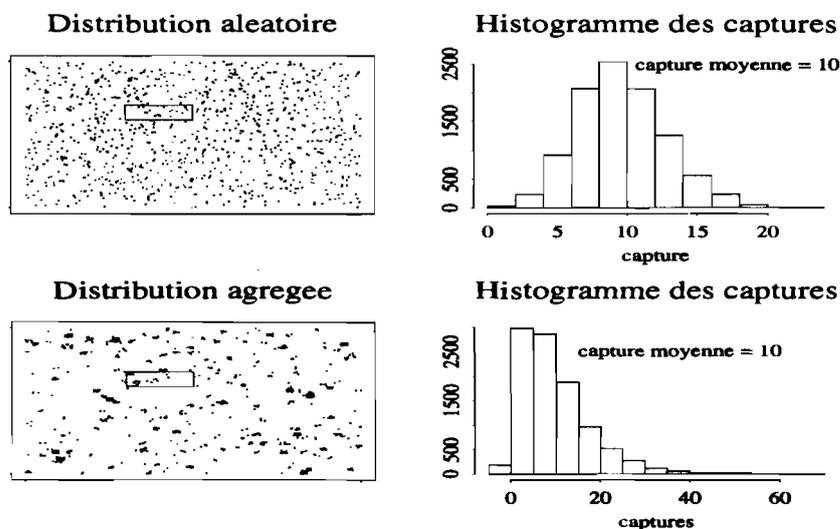


Figure 1: Agrégation des poissons et variabilité des captures. Le rectangle désigne l'emplacement d'un trait de chalut. En haut, une distribution aléatoire des poissons dans l'espace correspond à des captures distribuées selon une loi de Poisson. En bas, une distribution spatiale agrégée implique une surdispersion des captures (ici une loi binomiale négative).

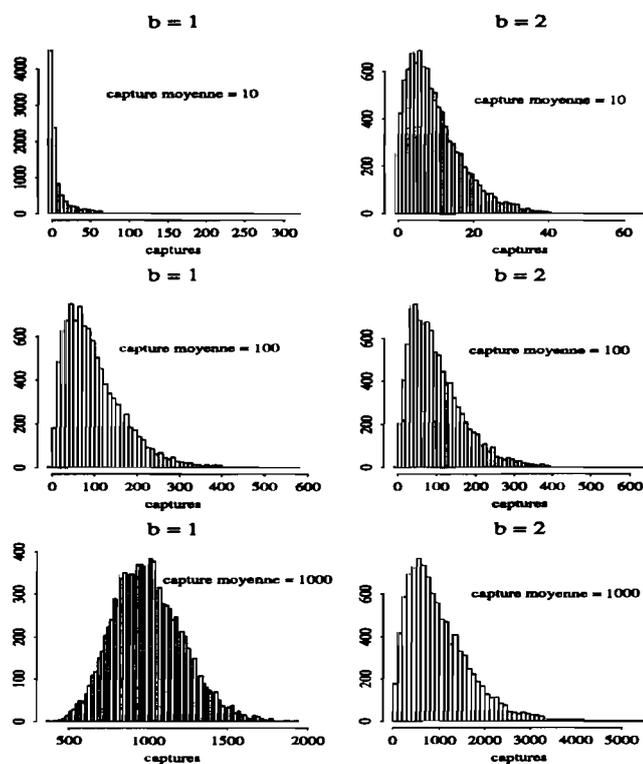


Figure 2: Profils de distributions obtenus pour 3 abondances locales (de haut en bas) et une relation moyenne-variance du type  $\sigma^2 = \mu + a\mu^b$ . A gauche ( $b = 1$ ) les agrégats sont (en moyenne) de taille constante; à droite ( $b = 2$ ) les agrégats sont de taille proportionnelle (en moyenne) à l'abondance locale.

une relation entre moyenne et variance (voir la figure 2). Au total, on obtient des équations du type:

$$E(C) = \alpha\nu \quad (3)$$

$$\text{Var}(C) = V(\alpha, \nu, \theta), \quad (4)$$

où  $\nu$  est un paramètre reflétant à une abondance (pouvant être, à son tour, décomposé en un effet année et un effet zone, ou pouvant dépendre éventuellement de variables d'environnement) et  $V$  une fonction reliant moyenne et variance. Cette fonction peut dépendre d'un paramètre  $\theta$ . Les équations 3 et 4 sont la traduction "utilisable" des hypothèses faites sur l'agrégation et le processus de capture. En particulier, étant donné le nombre de processus intermédiaires, il paraît peu opportun de formuler une hypothèse paramétrique sur la loi de  $C$ .

Dès lors il convient de trouver une méthodologie statistique adaptée au problème tel qu'il est formulé dans les équations 3 et 4. La caractéristique première de ce problème est qu'il est semi-paramétrique: seuls les deux premiers moments sont spécifiés. La méthode doit donc posséder une certaine robustesse, au sens où l'on souhaite qu'elle possède des propriétés de convergence et de normalité asymptotique quelle que soit la loi de  $C$  vérifiant 3 et 4. Le problème des points aberrants n'est pas abordé ici. Après une première analyse, il apparaît que les méthodes les plus adaptées sont des méthodes estimant séquentiellement les paramètres de moyenne et les paramètres de variance. Plusieurs méthodes sont comparées, sur la base de leurs propriétés asymptotiques mais aussi par simulation, afin de tester leur comportement à distance finie sur une vaste gamme de distributions. A chaque méthode d'estimation est associée une procédure de test asymptotique.

Une application aux données de chalutages scientifiques réalisés en Mer du Nord (campagnes IBTS), où interviennent de nombreux navires différents, est proposée. On teste l'hypothèse nulle selon laquelle les navires possèdent tous la même puissance de pêche, avant d'éventuellement proposer des estimations et des intervalles de confiance pour les puissances de pêche (par espèce et par âge).

Des perspectives sont proposées pour étendre l'approche au cas de données présentant des corrélations; d'autre part, le cas de données commerciales, pour lesquelles les navires ciblent ou ne ciblent une espèce donnée, est envisagé.

L'approche proposée ici, consistant à décomposer les processus pour construire l'observation, ne va pas forcément dans le sens d'une complexification des méthodes: la mise en œuvre pratique n'est pas plus difficile que celle du modèle de Robson d'estimation des puissances de pêche. Simplement, les résultats peuvent être différents selon les cas. De plus, outre l'estimation des puissances de pêche et des indices d'abondance, l'estimation de la fonction de variance nous procure une information sur les schémas d'agrégation qui peut être précieuse, non seulement d'un point de vue écologique, mais aussi dans le cadre de l'analyse des données commerciales.

# Le covariogramme : un outil structural.

N. Bez<sup>1</sup>, J.C. Poulard<sup>2</sup> et J. Rivoirard<sup>1</sup>

Deuxième Forum Halieumétrique  
Nantes ; 26-28 Juin 1995

1. Centre de Géostatistique–Rue Saint-Honoré–77305 Fontainebleau
2. IFREMER–BP 1049–44037–Nantes

## Introduction

L'utilisation d'outils structuraux répond à deux objectifs : décrire, en la résumant, la structure spatiale d'un phénomène régionalisé, et utiliser cette structure pour effectuer par exemple des cartographies, des estimations, ou encore des simulations. Le but de ce travail est de présenter le covariogramme jusque là utilisé dans des conditions limitées.

Nous verrons qu'il se présente comme une alternative au variogramme, dans des cas où celui-ci se révèle peu adapté. En particulier lorsque se pose la question de savoir comment décrire la distribution spatiale d'une densité de poissons quand l'abondance totale du stock provient de concentrations fortes et rares, et qu'il est difficile de délimiter un champ à l'intérieur duquel les variations sont homogènes.

### Le variogramme

L'analyse variographique porte sur des données de merlu (*Merluccius merluccius*) issues de la campagne de chalutage organisée, en 1990, par l'IFREMER dans le Golfe de Gascogne. L'échantillonnage est stratifié aléatoire dans la moitié Sud du Golfe, et presque régulier dans la moitié Nord (Fig.1). Les densités de merlu d'âge 0 sont réparties dans la partie centrale du plateau; l'ensemble du stock de la région semble avoir été observé. L'irrégularité spatiale apparaît importante puisque de fortes densités sont entourées de densités très faibles voire nulles. La distribution des densités est très disymétrique : moins de 10% des densités engendrent 50% du total (forte sélectivité).

Le variogramme est défini dans le cadre de la géostatistique intrinsèque; c'est-à-dire lorsque le phénomène régionalisé est modélisé par une fonction aléatoire  $Z(x)$ , où  $x$  est un point de l'espace :

$$\gamma(\vec{h}) = \frac{1}{2} \times \text{Var}(Z(x) - Z(x + \vec{h}))$$

Dans la pratique, il est souvent considéré sous une autre forme, plus commode à estimer, car il correspond à une espérance dont l'équivalent dans les données est la moyenne du carré des écarts des échantillons distants de  $\vec{h}$ . :

$$\gamma(\vec{h}) = \frac{1}{2} \times E[(Z(x) - Z(x + \vec{h}))^2]$$

Des variogrammes ont été calculés perpendiculairement et parallèlement aux isobathes (Fig. 2). Au travers du plateau continental, le variogramme expérimental augmente rapidement jusqu'à 100 miles nautiques où il dépasse la variance, et décroît ensuite; ce qui n'en fait pas un variogramme "typique". Parallèlement au plateau, le variogramme augmente plus lentement et dépasse largement la variance expérimentale à partir de 100 miles nautiques.

La chute du variogramme aux grandes distances s'explique par la baisse des densités lorsqu'on s'éloigne du coeur riche. Les différences entre valeurs deviennent alors de plus en plus faibles, jusqu'à devenir nulles quand les distances excèdent les dimensions du stock. Il faut donc définir le champ des valeurs non nulles à l'intérieur duquel le variogramme représente la variabilité intrinsèque du merlu, dans la mesure où la géométrie du stock n'a pas d'incidence sur elle. Cependant, la définition du champ entraîne une modification du variogramme et implique le choix d'un seuillage permettant de considérer des densités très faibles comme nulles et de faire la distinction entre

zéros extérieurs et intérieurs à la régionalisation (problème du traitement des densités quasi-nulles observées au Nord).

La signification et l'intérêt du variogramme est de mesurer une variabilité à l'intérieur d'un champ en faisant une moyenne de quantités qu'on juge d'une certaine façon comparables. Cette démarche est formalisée par l'hypothèse dite intrinsèque où les incréments de la variable sont stationnaires (écarts entre densités supposés de même loi partout dans le champ). Or, dans la mesure où un champ serait fixé, il reste que les fortes densités ont généralement une localisation préférentielle à l'intérieur du champ. Il devient alors difficile de supposer que l'ensemble des paires  $z(x), z(x + \vec{h})$ , dont on fait la moyenne pour calculer le variogramme, sont comparables. Le recours au variogramme n'est donc judicieux que si toutes les parties du champ jouent le même rôle dans la variabilité du phénomène.

### Le covariogramme.

La géométrie du champ étant souvent un élément structurant des populations halieutiques, il devient délicat de chercher à exhiber une variabilité des densités interne et indépendante au champ. De plus, en probabilisant l'information, on suppose que les densités auraient pu être observées en d'autres endroits du champ, tout en conservant les caractéristiques structurales moyenne de la variable. Ce qui n'est probablement pas très réaliste en halieutique.

Nous avons donc fait appel au covariogramme. En s'en tenant au formalisme des variables régionalisées, le covariogramme est défini par :

$$g(\vec{h}) = \int z(x)z(x + \vec{h})dx$$

Il permet de résumer l'information structurale bivariable contenue dans les données. Le lien avec le variogramme est donné par la relation :

$$g(0) - g(\vec{h}) = \int_{S \cap S_{-\vec{h}}} (z(x) - z(x + \vec{h}))^2 dx$$

où  $S$  est le champ des valeurs non nulles et  $S_{-\vec{h}}$  son translaté de  $-\vec{h}$ .

En somme, on ne s'intéresse plus à une moyenne mais à une somme d'écarts quadratiques. Le covariogramme est donc un outil structural, équivalent au variogramme, qui ne nécessite aucune hypothèse de stationnarité, et pour lequel ne se posent plus les problèmes d'occurrence (reproductible) des fortes valeurs, et de traitements de valeurs nulles (toujours source de tracas pour les variogrammes). La seule réelle contrainte pour utiliser le covariogramme est que l'échantillonnage doit déborder le champ.

Dans le cas d'une maille régulière (cadre habituel de son utilisation), le covariogramme expérimental est fourni par :

$$g^*(k.a) = a \sum_i z(x_o + i.a)z(x_o + i.a + k.a)$$

où  $x_o$  est l'origine de la grille et  $a$  la maille. La structure expérimentale est donc discrète, connue pour des distances multiples de la maille. Son ajustement par une fonction continue fournit le covariogramme recherché.

Cependant, l'estimation d'un covariogramme pose des problèmes lorsque l'échantillonnage n'est pas régulier. Deux solutions sont proposées pour mener à bien les calculs dans la pratique :

- la création d'une grille régulière fine informée en chaque noeud par la donnée la plus proche (Fig 4). Le covariogramme calculé est, aux erreurs de discrétisation près :

$$g^*(\vec{h}) = \sum_i^n \sum_j^n z_i z_j |S_i \cap S_{j-\vec{h}}|$$

où  $S_i$  est la surface d'influence de l'échantillon  $z_i$ . Chaque couple de données  $(z_i, z_j)$  intervient globalement avec un poids  $S_i S_j$ . Cette méthode présente l'inconvénient de linéariser le covariogramme, et d'attribuer toute une gamme de distances à chaque produit de densités.

- une pondération appropriée par les surfaces d'influence de chaque échantillon :

$$g^*(\vec{h}) = K(\vec{h}) \times \frac{\sum \sum_{i,j \approx \vec{h}} z_i z_j S_i S_j}{\sum \sum_{i,j \approx \vec{h}} S_i S_j}$$

où  $K(h)$  est le covariogramme géométrique du champ. Le poids total de chaque paire est toujours  $S_i S_j$  mais la valeur  $z_i z_j$  est dorénavant affectée à la distance correspondant à celle de leur observation. Cependant, l'échantillonnage étant plus resserré autour des endroits à fortes densités, les surfaces d'influences de chaque point sont liées aux densités. Ce qui entraîne un biais dans le calcul du covariogramme.

Les covariogrammes expérimentaux (Fig. 3) sont obtenus avec la première méthode. Ils sont plus réguliers que les variogrammes correspondants. Leurs portées ne s'interprètent plus en termes de corrélations mais en termes géométriques (étendue des stocks).

#### Utilisation et approches plus fines.

A maille régulière, le covariogramme s'introduit naturellement pour l'estimation d'une variance d'estimation globale. Nous venons de voir son extension possible à d'autres approches. Lorsque la reconnaissance d'un phénomène déborde suffisamment le champ, il est possible, à condition de manipuler des estimateurs linéaires et invariants par translation, d'utiliser le covariogramme pour des estimations par krigeage.

On définit également des outils structuraux plus fins :

- les lois bivariées  $K_{z,z'}(h) = P(z(x) > z', z(x+h) > z)$  ou les probabilités conditionnelles  $K_{z,z'}(h)/K_{z,z'}(0) = P(z(x+h) > z | z(x) > z')$  pour  $z < z'$ .
- les régressions bivariées  $E[z(x+h) | z(x) = z]$ .

dont le covariogramme est la synthèse :

$$g(h) = \int \int K_{z,z'}(h) dz dz' = \int z S(z) E[z(x+h) | z(x) = z] dz$$

Enfin, d'autres modèles, non stationnaires, sont nécessaires pour tenir compte du lien (non linéaire) des densités avec des variables auxiliaires (température, profondeur,...).

### ***Conclusions.***

On retiendra que le covariogramme est un outil structural synthétique, global, et dénué d'hypothèse. Il est généralement présenté dans le cadre d'un échantillonnage régulier qui est la situation la plus confortable pour son estimation. Dans la pratique halieutique, se pose le problème de l'inférence du covariogramme à partir d'une maille souvent peu régulière.

### ***Bibliography***

Koudriavsteva T., 1994. Rapport de stage confidentiel. Centre de géostatistique.

Matheron G., 1970. La théorie des variables régionalisées et ses applications. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique, Fascicule 5, E.N.S.M.P., Fontainebleau, France, 212p.

Matheron G., 1978. Estimer et choisir. Les cahiers de morphologie mathématique, Fascicule 7, E.N.S.M.P., Fontainebleau, France, 175 p.

Petitgas P., 1991. Contributions géostatistiques à la biologie des pêches maritimes. Thèse Dr. en Géostatistique, E.N.S.M.P., Fontainebleau, France. 211 p.

Poulard J.C., 1990. Evaluation des ressources halieutiques de l'Ouest de l'Europe, Deuxième Phase, Contrat IFREMER-CEE, n°88/1210834/BF.

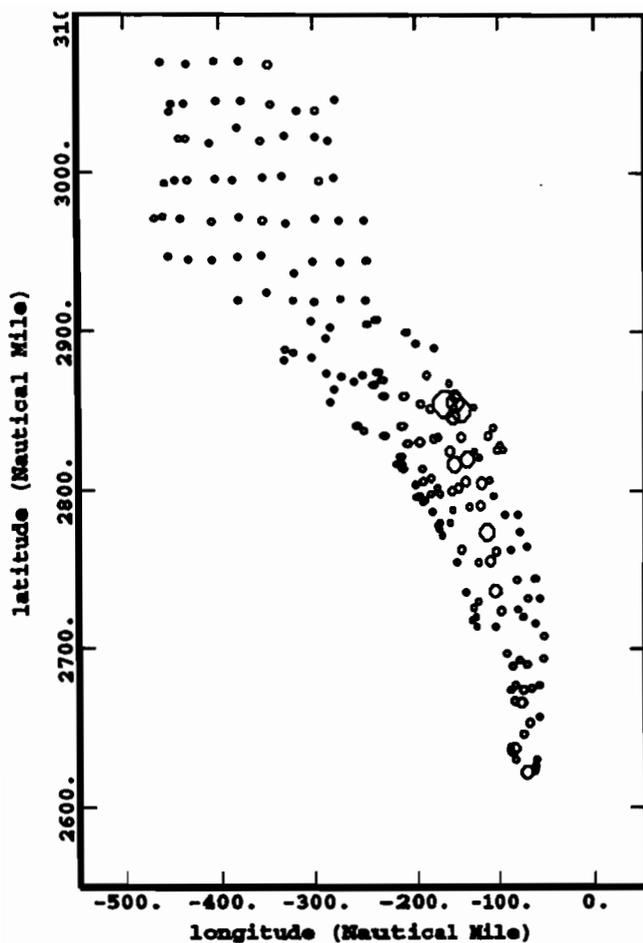


Fig 1 : Merlu - Age 0 - 1990  
Représentation proportionnelle  
des données.

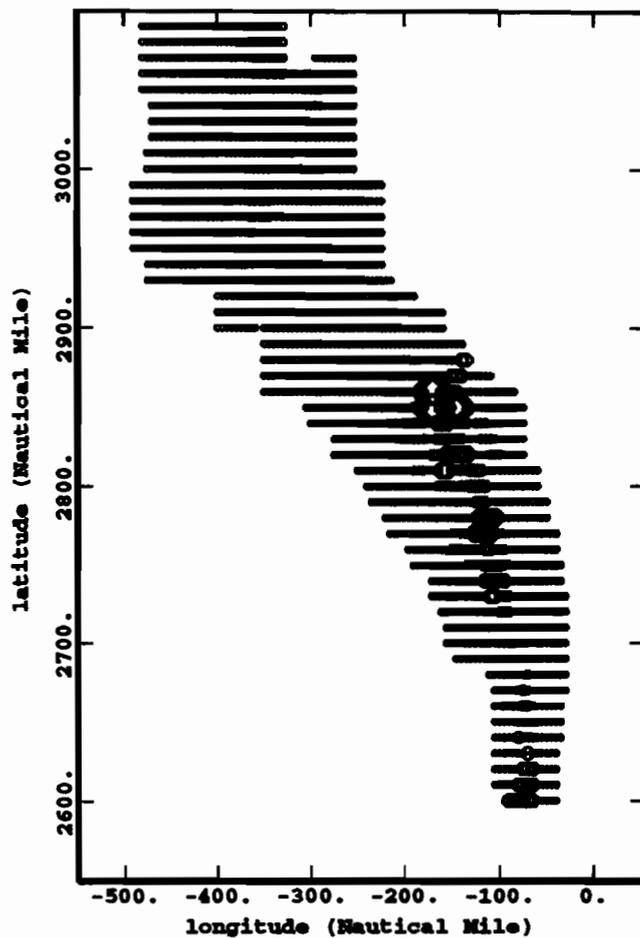


Fig 4 : Migration des densités  
sur une grille régulière  
de maille 5 n.m. x 10 n.m.

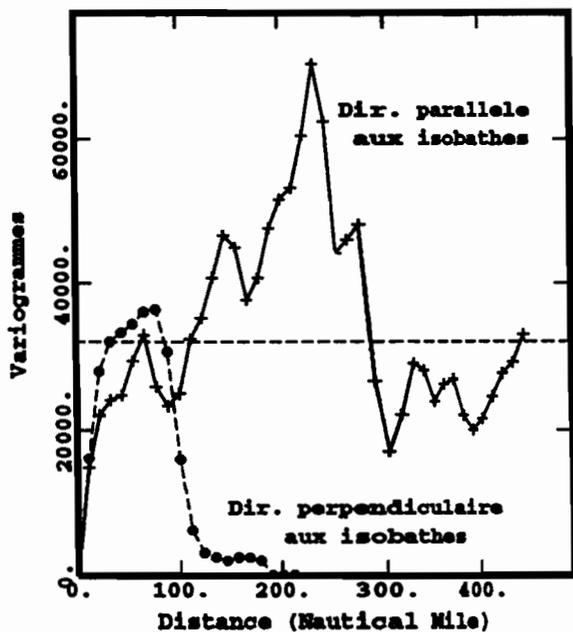


Fig 2 : Variogrammes.

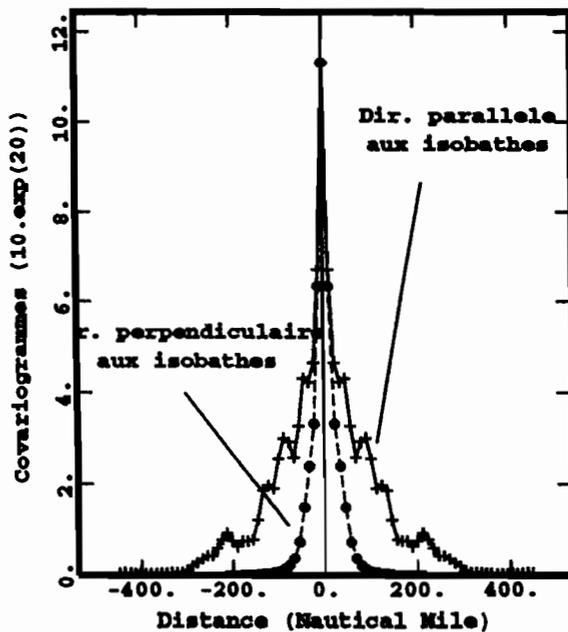


Fig 3 : Covariogrammes.

## Les poissons démersaux de la ZEE guinéenne : problèmes liés à l'étude de la répartition spatiale de leur biomasse

### Introduction

En 1992 a débuté au Centre National des Sciences Halieutique de Boussoira en Guinée un programme dont l'objectif est d'évaluer entre autres les possibilités d'aménagement de la pêche industrielle en Guinée. La réglementation de la pêche en Guinée était basée jusqu'en 1994 sur la répartition spatiale de l'effort de pêche avec la zone extérieure aux 12 milles réservée à la pêche industrielle. Nos prospections ont donc surtout concernées cette zone. Jusqu'à cette date une seule évaluation des stocks halieutiques avait été réalisée dans cette zone, en avril 1990 (DIALLO et DOMAIN, 1991). Dans ce nouveau programme d'évaluation il était prévu de réaliser trois campagnes pour estimer la variation spatio-temporelle de la répartition de la biomasse. La représentation cartographique des densités de poissons sera analysée par la géostatistique et les problèmes liés à une très forte hétérogénéité du milieu seront mis en évidence.

### Méthodologie

Ces campagnes ont été réalisées respectivement en octobre/novembre 1992 après la saison des pluies, en février 1993 au milieu de la saison sèche et en mai 1993 au début de la saison des pluies par le bateau NO André NIZERY avec un échantillonnage systématique. Ne disposant en 1992 que de peu d'informations sur la ressource, la position des points échantillonnés a été choisie pour les première et deuxième campagnes de façon à être espacées régulièrement de 8,5 milles sur des radiales perpendiculaires à la côte espacées également de 8,5 milles. Pour mieux connaître la forme du variogramme près de l'origine, des prospections ont également été réalisées à 4,25 milles au nord est, nord ouest, sud ouest et sud est de 6 de ces points choisis de façon à être dispersés sur toute la zone. Lors de la troisième campagne le plan d'échantillonnage a été modifié en fonction des premiers résultats. Sur les mêmes radiales le maillage de l'échantillonnage systématique a été ramené à 4,25 milles dans la zone la plus intéressante pour notre étude, c'est à dire à l'interface entre les aires occupées par les deux grandes communautés, Sciaénidés et Sparidés, entre 10 et 20 mètres de fond (FAGER et LONGHURST, 1968). Au large il a été plus lâche avec une maille de 12,75 milles alors que la distance des 24 points plus rapprochés a été diminuée à 2,25 milles (Figure 1).

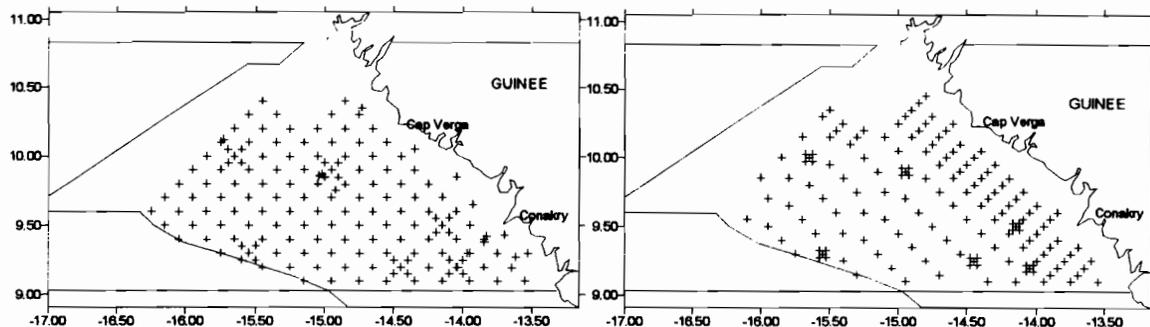


Figure 1 : Positions des stations échantillonnées lors des campagnes 1 et 2 (gauche) et 3 (droite)

A chaque coup de chalut les poissons sont triés, comptés, pesés et mesurés. On obtient ainsi entre autres des indices d'abondance correspondant aux rendements de 30' de trait de chalut pour les espèces ou les groupes d'espèces considérés. Le critère étudié ici est le rendement total. Le programme EVA (PETITGAS et PRAMPART, 1993) a été utilisé pour calculer les variogrammes et ajuster les modèles. Le krigeage a été fait sous GEOEAS et les cartes de densité sont sorties par WINSURF.

### Résultats

Une première analyse des données montre que les rendements diminuent rapidement lorsque l'on s'éloigne vers le large pour atteindre un palier à 20 milles environ de la ligne de base (Figure 2). Ce palier reste à peu près constant jusqu'à 75 milles des côtes, distance à partir de laquelle il remonte rapidement pour atteindre ses valeurs les plus fortes. Les mêmes données regroupées en trois communautés décrites par Fager et Longhurst (1968) montrent que les forts rendements de la côte correspondent à la communauté à Sciaénidés, que les plus faibles rendements correspondent à la communauté à Sparidés et que les rendements du large correspondent à la communauté du haut du plateau.

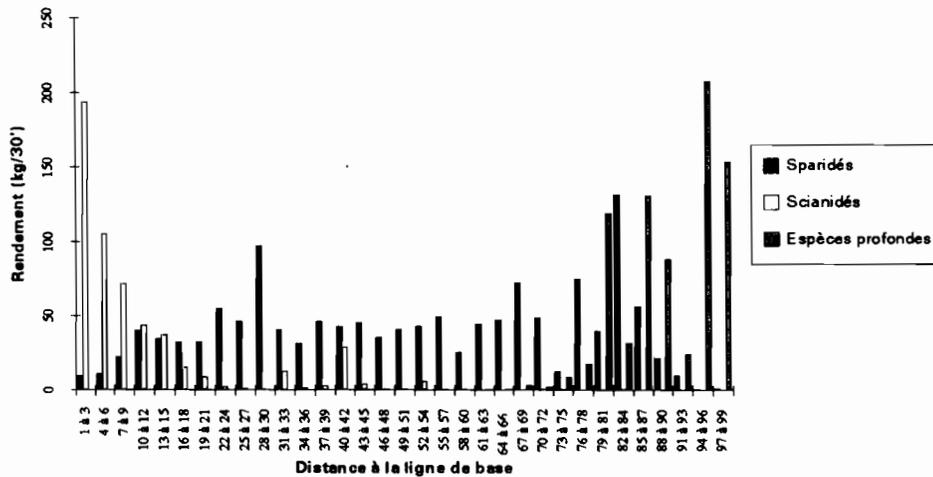
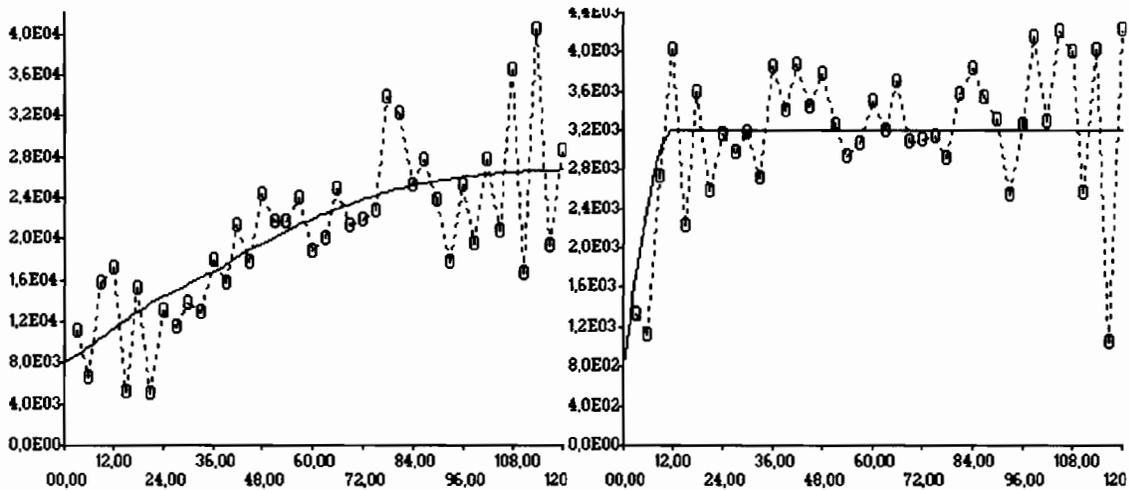


Figure 2 : Rendements par communauté en fonction de la distance en milles à la ligne de base.

Les variogrammes correspondant à ces données sont également très différents selon les saisons (Figure 3). Lors des première et deuxième campagnes les effets pépites sont du même ordre de grandeur alors que pour la troisième campagne cette effet n'existe presque plus. Au cours de la deuxième campagne il n'apparaît pour ainsi dire aucune structuration dans la répartition des poissons sinon à très courte échelle. Le palier est atteint à 12 milles environ et ensuite le variogramme est plat. La première campagne il y a un effet gigogne avec un modèle sphérique peu marqué dont le palier est atteint à 25 milles environ et ensuite un modèle gaussien avec un palier plus fort et une portée de 50 milles. Le troisième variogramme est linéaire et rend bien compte du fait qu'il existe une zone peu étendue et bien individualisée avec des rendements bien plus forts qu'ailleurs.



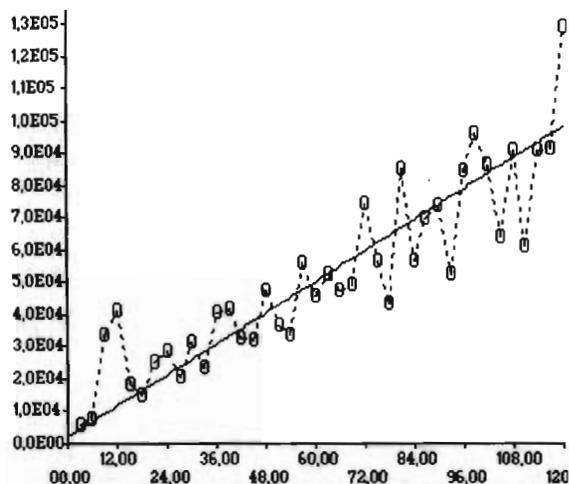


Figure 3 : Variogrammes obtenus pour les différentes campagnes

Dans le cas de ces trois variogrammes l'effet pépite explique respectivement 49, 36 et 2% de la valeur de la variance. Les cartes de répartition des rendements dans la zone (Figure 4) ont été obtenues en utilisant pour le krigeage les modèles mis en évidence par les variogrammes. Cette répartition varie selon les campagnes avec comme constante, les fortes densités du large. Au cours de la deuxième campagne les valeurs sont plus homogènes dans l'espace. C'est au cours de la troisième campagne que les zones riches et pauvres sont les plus contrastées.

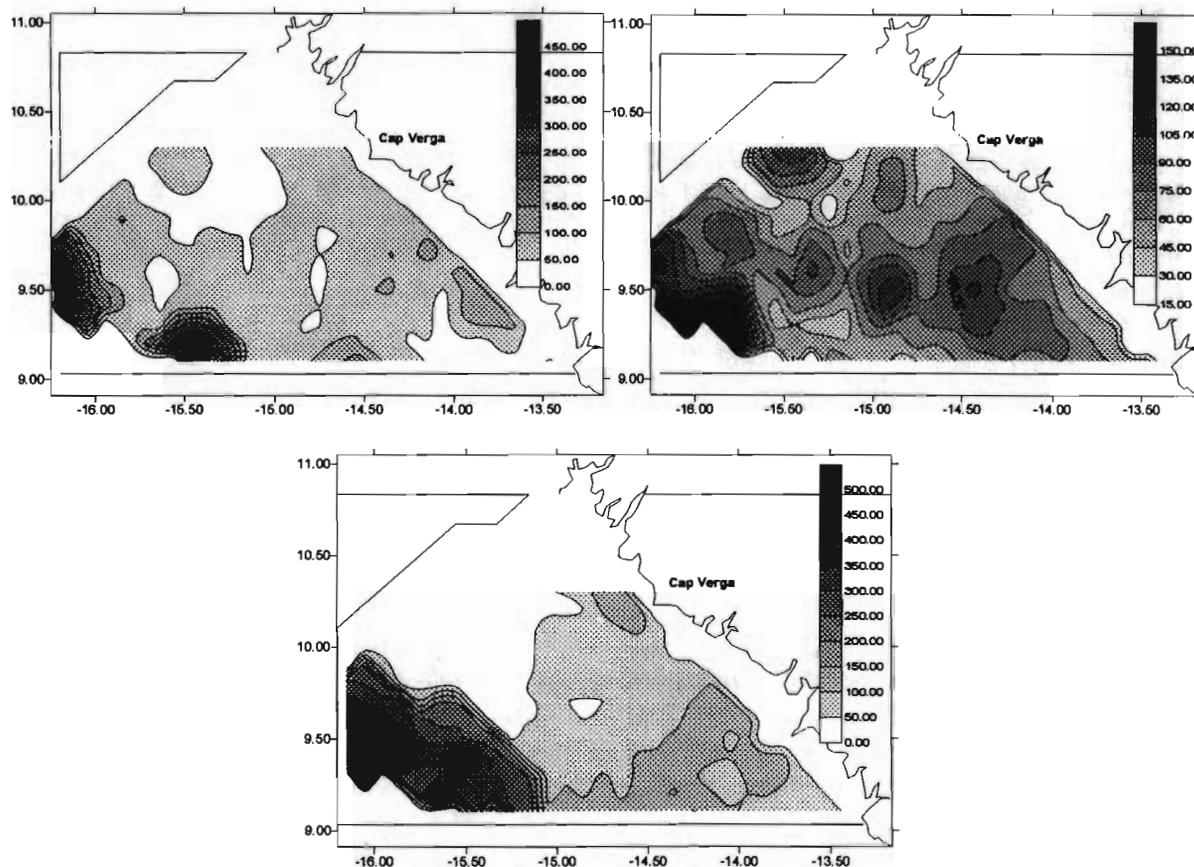


Figure 4 : Carte de répartition par campagne des rendements totaux après krigeage selon les modèles définis par les variogrammes

En ce qui concerne les variances des estimateurs, le gain dans la précision de la moyenne n'est pas négligeable pour les campagnes 1 et 2 si on tient compte de la structure spatiale des données alors que c'est l'inverse qui se passe dans le cas de la troisième campagne (Tableau 1) où la précision est bien moins bonne si on tient compte

du modèle de variogramme. Lors de cette campagne les valeurs obtenues au large ont été exceptionnellement élevées et ont eu une grande influence sur la modélisation du variogramme.

Campagne	Moyenne (Kg/30' de trait)	écart type sans tenir compte de la structure	écart type en tenant compte de la structure
1	85.2	12 (14.1)	11 (12.9)
2	69.2	4.8 (6.9)	3.9 (5.6)
3	115.2	17.6 (15.3)	32 (27.8)

Tableau 1 : moyenne et variance obtenues pour les différentes campagnes et en tenant ou pas compte du modèle de variogramme (précision en %).

Cette zone du large semble donc jouer un rôle important dans le choix des paramètres du variogramme alors qu'elle n'est peuplée que d'espèces non commercialisables actuellement et qu'elle n'occupe qu'une surface restreinte. Il semble donc plus judicieux de traiter cette zone à part. Un polygone d'étude excluant le large a ainsi été utilisé pour les traitements suivants. L'étude a porté sur le gain de précision sur la moyenne en tenant compte ou non de la structure spatiale et sur le gain de précision en modifiant le plan d'échantillonnage

Campagne	moyenne	écart type sans structure	écart type avec structure	écart type avec structure et nouvel échantillonnage
1	65.2	6.6 (10) (C1 ou 2)	5.5 (8.4) (C1 ou 2)	5.9 (9) (C3)
2	66.2	5 (7.6) (C1 ou 2)	4.5 (6.8) (C1 ou 2)	9.3 (14) (C3)
3	80.9	6.9 (8.5) (C3)	6.6 (8.2) (C3)	7.0 (8.7) (C1 ou 2)

Tableau 2 : moyenne et variance calculées sur le polygone excluant le large avec les différentes stratégies d'échantillonnage (C1 ou 2 = échantillonnage des campagnes 1 et 2 et C3 = échantillonnage de la campagne 3) (Précision en %).

La précision relative sur la moyenne est meilleure, surtout si l'on tient compte de la structure spatiale, pour les campagnes 1 et 3 où l'on rencontre les plus forts rendements dans la zone du large. Par contre pour la campagne 2 les rendements sont plus homogènes partout et il y a même une légère perte de précision en excluant le large des calculs. Par contre le changement d'échantillonnage n'a pas d'influence vraiment déterminante sur la précision des résultats.

### Discussion

La ZEE guinéenne est enrichie toute l'année à la côte par les rivières et les échanges avec la mangrove et saisonnièrement, de février à mai, au large par l'upwelling. Elle peut être divisée en trois zones par rapport aux rendements rencontrés. Les rendements dans ces zones côtière, médiane et du large sont respectivement, toutes campagnes confondues, de 80, 40 et 150 kg/30' alors que les surfaces relatives qu'elles occupent sont de 20, 75 et 5%. La zone du large, la plus riche, est donc également la plus restreinte et elle est contigue à la zone la plus pauvre et la plus étendue. Ceci va avoir une grande influence sur les résultats du krigeage et augmentera la variance de l'estimation en surévaluant les rendements de la zone médiane et en sous estimant ceux de la zone côtière. Il faut donc traiter cette zone du large à part. Le changement de stratégie d'échantillonnage à la troisième campagne n'a pas eu une grande influence sur la qualité des résultats en ce qui concerne le critère étudié.

### Bibliographie

- DIALLO A. et DOMAIN F, 1991 : Rapport de la campagne de chalutage du N.O. Louis Sauger au large de la Guinée (24 avril au 19 mai 1990). Document Scientifique N°15 - juillet 1991.
- FAGER et LONGHURST, 1968 : Recurrent goup analysis of species assemblage of demersal fishes in the gulf of Guinea. I. Fish. Res. Board Can. 25 (7) : 1405- 1421.
- PETITGAS P. et PRAMPART A., 1993 : Logiciel de géostatistique pour IBM-PC effectuant l'analyse d'estimation structurale et les calculs de variance d'estimation des quantités totales pour des données géographiquement corrélées. 81<sup>ème</sup> réunion statutaire du CIEM : CM1993/D:65.

# CALCULS DE VARIANCES D'ESTIMATIONS GLOBALES CONDITIONNEMENT PAR UNE VARIABLE AUXILIAIRE

Ph. Guiblin \*

J. Rivoirard\*

Juin 1995

## Résumé

Cet article propose un calcul permettant d'évaluer une variance d'estimation globale d'un stock halieutique dans le cas où une variable liée à l'environnement semble être fortement conditionnante. L'étude est envisagée sous l'approche géostatistique.

## Variance d'estimation

Dans le cas d'un échantillonnage systématique (grille régulière), on considère l'estimateur de la quantité globale :

$$Q^* = Z_V^* |V|$$

où  $Z_V^*$  est l'estimateur de la moyenne globale de la variable (densité de poissons, par exemple)  $Z_V$  sur tout le champ, calculé comme la moyenne arithmétique des données collectées ( $\frac{1}{n} \sum_i Z(x_i)$ ) et  $V$ , la surface du champ que l'on suppose fixé.

En interprétant, ici,  $Z(x)$  comme la réalisation au point  $x$  d'une fonction aléatoire non stationnaire d'espérance :

$$E(Z(x)) = m(x)$$

et de covariance :

$$C_Z(x, y) = E[(Z(x) - E(Z(x)))(Z(y) - E(Z(y)))],$$

le biais de cette estimation s'écrit :

$$E(Z_V - Z_V^*) = \frac{1}{V} \int_V E(Z(x)) dx - \frac{1}{n} \sum_i Z(x_i)$$

et la variance d'estimation de cette moyenne globale s'écrit :

$$Var(Z_V - Z_V^*) = \frac{1}{n^2} \sum_i \sum_j C_Z(x_i, x_j) - \frac{2}{Vn} \sum_i \int_V C_Z(x, x_i) dx + \frac{1}{V^2} \int_V \int_V C_Z(x, y) dx dy$$

Dans les exemples qui seront présentés, la non stationnarité de la variable  $Z(x)$  est due à une variable auxiliaire  $T(x)$  (une température, par exemple).

---

\*. Centre de Géostatistique de Fontainebleau - Rue St Honoré - 77300 Fontainebleau

Le lien entre ces variables sera exprimé, ici, de deux manières différentes suivant la relation entre moyenne et variance conditionnelles.

Le lien entre la densité de poisson et une variable auxiliaire est fréquemment modélisé en science halieutique par un modèle linéaire faisant intervenir les logarithmes des variables. Une autre approche est proposée, ici, qui prend pour point de départ l'hypothèse d'un lien multiplicatif entre la variable et une covariable. On s'inspire, alors d'un modèle multiplicatif présenté par P.Petitgas (1991) que l'on se propose de modifier pour l'adapter aux exemples traités.

## Modèle multiplicatif

Le modèle multiplicatif le plus simple peut s'écrire :

$$Z(x) = m(x)Y(x)$$

où  $m(x)$  est une fonction de la covariable  $T$ , déterministe et connue, et  $Y$  une fonction aléatoire stationnaire indépendante de  $T$ , d'espérance 1 et de covariance  $C_Y(h)$ . Dans ce modèle, la non stationnarité est due uniquement à la variable  $T$  et on a :

$$E(Z(x)) = m(x) = f(T(x)), \quad Var(Z(x)) = m^2(x)Var(Y(x))$$

et

$$C_Z(x, y) = m(x)m(y)C_Y(x - y)$$

Ce modèle suppose l'existence d'un lien proportionnel entre l'écart-type et la moyenne, connaissant  $T(x)$ :  $\sigma_Z(x) = m(x)\sigma_Y(x)$ .

Dans ce cadre le biais vaut :

$$\frac{1}{V} \int_V m(x)dx - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} m(x_i)$$

(en pratique, le plus souvent négligeable).

La variance d'estimation s'exprime, alors en fonction de la dérive  $m(x)$  et de la fonction covariance  $C_Y(h)$  de  $Y$ .

$$\begin{aligned} \sigma^2 = & \frac{1}{V^2} \int_V \int_V m(x)m(y)C_Y(x - y)dx dy - \frac{2}{V.n} \int_V \sum_i m(x_i)m(x)C_Y(x - x_i)dx \\ & + \frac{1}{n^2} \sum_i \sum_j m(x_i)m(x_j)C_Y(x_i - x_j) \end{aligned}$$

## Modèle plus général

Dans le cas où le lien entre l'écart-type conditionnel et la moyenne conditionnelle n'est pas proportionnel, le modèle multiplicatif n'est plus adapté. On peut envisager un modèle plus général (dans un cadre d'ordre 2) où l'espérance s'écrit:

$$E(Z(x)) = m(x) = f(T(x))$$

et la covariance non stationnaire comme le produit suivant:

$$C_Z(x, y) = \sigma(x)\sigma(y)\rho(h)$$

où  $h = x - y$ ,  $\sigma(x)$  et  $\sigma(y)$  sont les écart-types conditionnels aux points  $x$  et  $y$  et  $\rho$  est un corrélogramme stationnaire qui ne dépend que de  $h$ .  $\rho(h)$  peut s'écrire comme la covariance de  $Z$  normée:

$$\rho(h) = \text{Cov}\left(\frac{Z(x) - m(x)}{\sigma(x)}, \frac{Z(y) - m(y)}{\sigma(y)}\right)$$

L'expression de cette covariance non stationnaire met en jeu l'estimation d'une espérance et d'une variance. Dans la pratique  $m(x)$  et  $\sigma(x)$  seront supposées connues et représentées par des fonctions de  $T$ .  $m(x)$  et  $\sigma(x)$  ne dépendent de  $x$  que par l'intermédiaire de  $T$ . La variance d'estimation s'écrit:

$$\begin{aligned} \sigma^2 = & \frac{1}{n^2} \sum_i \sum_j \sigma_{x_i} \sigma_{x_j} \rho(x_i - x_j) - \frac{2}{Vn} \sum_i \int_V \sigma_x \sigma_{x_i} \rho(x - x_i) dx \\ & + \frac{1}{V^2} \int_V \int_V \sigma_x \sigma_y \rho(x - y) dx dy \end{aligned}$$

L'idée générale est donc de ramener l'étude d'une fonction aléatoire non stationnaire à celle d'une autre fonction aléatoire résiduelle stationnaire et non péritique, après élimination de sa partie non stationnaire.

Une application pratique sera proposée qui prendra pour exemple le conditionnement d'une densité de poissons par la température.

# Analyse de la distribution spatiale à petite échelle des poissons benthiques et démersaux en Mer Celtique

François Gauthiez,

(IFREMER, Laboratoire MAERHA, BP 1105, 44 311 Nantes cédex 03)

Jean-Charles Poulard et Constantin Koutsikopoulos

(IFREMER, Laboratoire ECOHAL, BP 1105, 44 311 Nantes cédex 03)

30 mars 1995

En octobre 1994, 31 chalutages sur le fond ont été réalisés en Mer Celtique, à l'intérieur d'une zone possédant les dimensions d'un rectangle statistique CIEM (1° de longitude sur 1/2° de latitude). Cette opération, baptisée MIREC (micro-répartitions en Mer Celtique), s'inscrivait dans le cadre des campagnes pluri-annuelles EVHOE que réalise l'IFREMER dans le Golfe de Gascogne et sur le plateau Celtique. Elle avait pour but de fournir une série d'observations permettant d'analyser des distributions spatiales à petite échelle. La figure 1 indique l'emplacement de la zone choisie pour l'opération.

A l'issue de chaque trait de chalut on a procédé à l'inventaire de toutes les espèces capturées. Le dénombrement des individus a été aussi exhaustif que possible; il a été effectué pour chaque espèce de poisson, par classe de taille. 25 espèces ont été capturées en quantité significative, parmi lesquelles un certain nombre d'espèces d'intérêt commercial (cardine, merlu, églefin, merlan, baudroie). Les chalutages ont été réalisés en une semaine, au rythme de 2 à 6 par jour.

L'hypothèse de base sous-jacente à notre travail est que la variabilité des captures trouve sa source principale dans l'arrangement spatial des poissons, ainsi que dans la variabilité temporelle de cet arrangement. Nous supposons donc que tout se passe comme si, pour une espèce et une classe de taille données, les différentes captures étaient autant de réalisations, éventuellement corrélées, d'une même variable aléatoire.

Une première analyse permet de tester, espèce par espèce, quelques hypothèses simples comme le caractère aléatoire de la distribution spatiale des poissons, ou encore l'existence de structures spatiales se traduisant par une corrélation entre les données. Dans le cas d'une distribution spatiale non aléatoire, on calcule divers indices de dispersion permet-

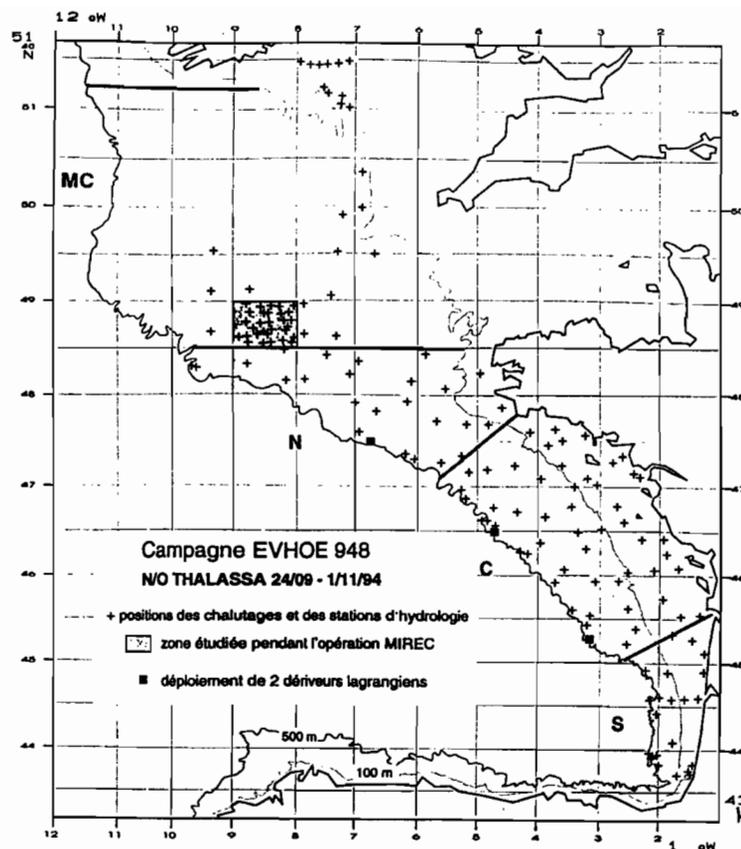


Figure 1: Emplacement du rectangle MIREC sur le plateau Celtique

tant éventuellement de distinguer différents types de schémas d'agrégation. L'effet de la distribution en taille des individus sur les captures (ou sur l'agrégation) est également étudié. La figure 2 présente quelques indicateurs statistiques pour deux espèces, le merlu et la cardine.

Dans une deuxième analyse, on explore la composition faunistique des chalutages et on la met en relation avec les schémas d'agrégation tels qu'ils nous sont restitués par la variabilité des captures.

Les différents résultats quantitatifs sont analysés et interprétés à la lumière des connaissances actuelles sur le comportement des espèces concernées et sur leur régime alimentaire. Il apparaît notamment que, la nature du fond et l'environnement hydrologique étant très homogènes sur la zone prospectée, l'agrégation des individus semble relever véritablement d'un comportement social plutôt que d'être induite par l'hétérogénéité du biotope.

Sur le plan méthodologique, les outils utilisés sont tout-à-fait classiques: indices de dispersion, test du  $\chi^2$ , méthodes usuelles d'estimation, analyse des correspondances multiples, calcul de variogrammes, etc... L'originalité de cette étude réside dans la nature de l'information qu'elle nous procure. En effet, en dehors des prospections par acoustique, la plupart des études concernant l'organisation spatiale des poissons sont réalisées au niveau de la population et donc à l'échelle de son aire de répartition. Or, dans l'observation d'une

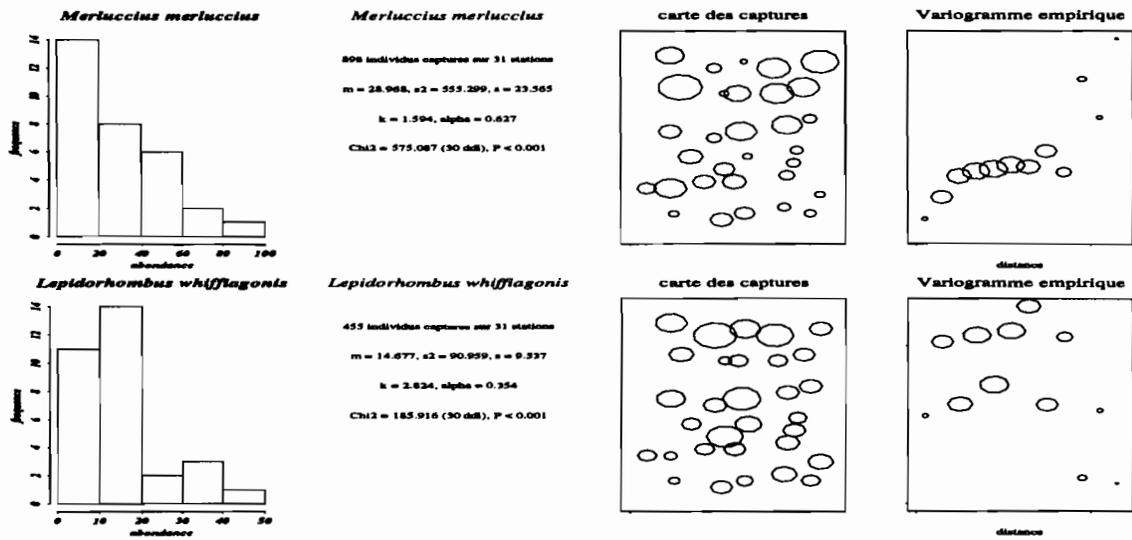


Figure 2: Analyse des captures pour *Merluccius merluccius* et *Lepidorhombus whiffiagonis*. De gauche à droite: histogramme des captures, statistiques simples (moments empiriques, indices de dispersion, test d'adéquation à une loi de Poisson), carte des captures et variogramme empirique.

pêcherie l'information de base est constituée par la capture; en particulier, dans les zones CIEM l'échelle d'observation est le carré statistique. Il était donc intéressant d'avoir accès à une composante primordiale de la variabilité de la capture, dégagée d'autres sources de variabilité comme les gradients de densité à grande échelle, l'hétérogénéité des flottes commerciales ou le caractère non aléatoire de la pêche commerciale.

**Donaïg LEBON LE SQUER**



**Chargée de recherche**

**Station de LORIENT**

**Unité de Recherche Associée 904 du CNRS**

**"Dynamique et Gestion des Espaces Littoraux"**

## **PROPOSITION DE COMMUNICATION**

### **POUR LE FORUM HALIEUMETRIQUE**

**NANTES 26 - 28 JUIN 1995**

# **LA PLACE DES ORGANISATIONS DE PRODUCTEURS DES PECHES MARITIMES DANS LE SYSTEME HALIEUTIQUE**

Dans le cadre des relations interdisciplinaires qui peuvent graviter autour de la sphère de l'halieutique, cette intervention portant sur les organisations de producteurs des pêches maritimes françaises est plus spécialement axée sur deux aspects majeurs :

- ⇒ en premier lieu une **approche méthodologique** ayant trait à la collecte et au traitement de l'information pour exposer la démarche de terrain employée auprès des professionnels ;
- ⇒ et deuxièmement, une **problématique spatiale** puisque ma formation initiale de géographe m'incite en permanence à raisonner dans cette perspective.

## **SITUATION**

Pour situer globalement le cadre de cette recherche, il est au préalable nécessaire de préciser l'environnement professionnel et scientifique dans lequel elle s'inscrit.

Au départ, en tant que chargée de recherche à l'URA 904 du CNRS ("Dynamique et gestion des espaces littoraux"), le FIOM m'a confié une étude globale sur les Organisations de Producteurs. A cette approche contractuelle est venue s'ajouter une collaboration avec le Service d'Economie Maritime d'AFREMER sur un appel d'offre communautaire (programme AIR).

Les deux projets se rejoignent en de nombreux points du cahier des charges et nous avons travaillé en phase au sein d'un groupe composé de juristes, d'économistes et de géographes.

## PRESENTATION SOMMAIRE DES OP

Les OP sont des structures mises en place dans le cadre des règlements communautaires de 1970 en tant qu'**outil de gestion et d'organisation du marché**. Au coeur du dispositif de la Politique Commune des Pêches, elles ont pour mission fondamentale d'assurer par des interventions de soutien des cours, un revenu "équitable" aux marins pêcheurs. Ce sont des structures économiques de droit privé auxquelles les producteurs adhèrent librement (*synthèse Définition et statut des OP*).

Il en existe aujourd'hui près de 150 en Europe, dont 29 en France et **21 structures françaises polyvalentes** si l'on exclut les OP spécialisées (thon, coquillages) et les fédérations nationales. Ces 21 OP représentent **35% des producteurs pour 68% de la production en valeur (64% en tonnage)**.

Initialement centrées sur l'action à la première vente par l'exercice d'un prix plancher (prix de retrait), leurs missions ont évolué tant en amont vers la gestion de la ressource qu'en aval dans les secteurs de la commercialisation et de la transformation des produits de la mer.

### 1.- ETAT DE RECHERCHE METHODOLOGIQUE

La **pratique méthodologique** associée à cette étude, en dehors du travail préalable classique de bibliographie et de documentation, a essentiellement consisté en enquêtes de terrain. Pour réaliser une sorte d'**audit des OP**, la première étape consistait à rencontrer les dirigeants et à collecter les informations tant qualitatives que quantitatives nécessaires à l'identification des organisations (*plan du guide d'entretien, fiche statistique*). Ce fut un gros travail de relance, de recherches complémentaires et de patience pour s'adapter aux priorités des professionnels.

Le **traitement de l'information** a ensuite pu se faire par codification des critères d'identification, **analyse en composantes multiples** et élaboration d'une **typologie**. Pour refléter le rôle et les caractéristiques des OP, des **outils de représentation** cartographiques, graphiques et schématiques, notamment sous forme de logigrammes, ont permis d'effectuer des synthèses de situation et de fonctionnement (*cartes, logigrammes fonctionnels*).

A cette démarche ciblée sur les responsables d'OP, nous avons associé la prise en compte des producteurs de façon à élargir le champ d'étude. L'analyse ne pouvant être aussi exhaustive que la précédente (2 500 producteurs adhérents en France), nous avons procédé par **sondage d'opinion** sur un **échantillon représentatif d'une soixantaine de pêcheurs**. L'interprétation des questionnaires et la méthode des ACM offrent ainsi un complément intéressant au point de vue des dirigeants avec des aspects socio-économiques plus humains, par opposition aux modalités plus structurelles que l'on avait approchées précédemment.

A chaque étape de ce travail, les éléments de réflexion trouvent des **illustrations aux différentes échelles d'analyse** :

- à l'échelle de la façade Manche-Atlantique dont la couverture par les OP est particulièrement représentative,
- à l'échelle de la région avec des fonctionnements et des politiques concertés,
- et à l'échelle du port ou de l'aire de débarquement qui est à la base de l'action de soutien engagée par les OP.

Il s'agit donc de jouer sur les échelles géographiques, du local au national et même au niveau européen puisque le programme AIR est menée conjointement en Grande-Bretagne et en Hollande et ouvre des perspectives comparatives. Cela pour apercevoir à chaque échelon, le rôle des OP dans la filière et les réponses apportées ou non aux mutations du système halieutique global.

## 2.- UNE DIMENSION SPATIALE : QUEL ESPACE D'INTERVENTION ?

Bien que de création récente à l'échelle des systèmes halieutiques, les OP ne sont pas des structures hors-site, mais au contraire fortement empreintes des traditions et particularismes locaux.

Leur implantation et leur insertion sont avant tout portuaires et fonction des points de débarquement et de première vente du poisson. Dans la mesure où toute OP est en premier lieu constituée "à l'initiative des producteurs", c'est aussi une **structure marquée par les hommes et l'espace de production**, donc à la fois par :

- les traditions de pêche,
- les comportements humains,
- les héritages portuaires...

Ces éléments ne peuvent être négligés comme facteurs explicatifs de la position des OP et de leur poids socio-économique dans les ports. Pourtant, au fil des modifications réglementaires et des mutations de la filière depuis deux décennies, s'est opéré un **glissement de l'échelle d'intervention** et une présence étendue sur le terrain. Cela pour différentes raisons parmi lesquelles :

### ⇒1.- Des stratégies individuelles

Confrontées à des limites, à des blocages, les OP ont été amenées à évoluer, à rechercher des solutions et, par là même, à sortir du cadre portuaire. C'est le cas notamment pour beaucoup d'entre elles, avec une forte implication aval dans la distribution et la commercialisation par le biais de coopératives de mareyage (*synthèse du domaine d'intervention des OP*). Il s'agit là davantage de stratégies politiques et d'initiatives décidées par les organisations ; ce que l'on peut regrouper sous le vocable d'"internalités".

### ⇒2.- Un renforcement des compétences

Les modifications de leur cadre d'intervention réglementaire sont allées dans le sens d'un renforcement des prérogatives (augmentation des espèces répertoriées dans les annexes communautaires, règle d'extension aux inorganisés...) et d'un élargissement en particulier vers l'amont avec l'attribution d'une compétence de gestion de la ressource (répartition des quotas) qui leur incombe théoriquement depuis 1992 (d'après le règlement CE 3759, et dès 1990 par décision nationale) (*synthèse du domaine d'intervention des OP*).

### ⇒3.- Un contexte de marché étendu

Le mouvement général d'internationalisation du marché et de concentration des principaux distributeurs joue en faveur d'une offre concurrentielle des produits, non plus seulement à l'échelle d'un port et de sa criée avec son arrière-pays, mais à l'échelle régionale, nationale et internationale avec des hinterlands considérables. Il n'est qu'à évoquer la concurrence exercée par les produits d'importation (en provenance des autres Etats de la Communauté ou des pays tiers) sur la production nationale pour s'en persuader.

Ces deux derniers points relèvent d'influences extérieures. Ils recouvrent le cadre des "externalités".

De fait, les OP, pour remplir leur rôle d'organisation et de régulation des marchés, sont amenées à s'adapter et à fonctionner à des échelles renouvelées. Cela se traduit par l'émergence de fonctionnements en réseaux, de politiques concertées... A titre d'illustration, il est intéressant de s'attarder sur cet aspect des interactions mis particulièrement en avant par l'actualité du secteur vis-à-vis :

- des orientations politiques qui jouent en faveur d'une incitation au fonctionnement concerté des acteurs professionnels (*exemple de la mise en réseau des opérateurs*).
- et de l'apparition progressive au sein des OP d'une nouvelle échelle d'action régionalisée.

Les différents points de rencontre des OP entre elles ne sont d'ailleurs pas forcément concertés, mais peuvent recouvrir des aspects conflictuels, comme le reflète la concurrence à laquelle se livrent certaines OP dans le "démarchage" des producteurs pour récupérer des adhérents en provoquant des démissions chez leurs voisins.

Selon une démarche plus constructive, on peut citer des exemples de collaborations :

#### ⇒ Interactions des OP avec les autres intervenants de la filière

Ce type de fonctionnement se développe assez nettement à travers des relations de partenariat sous la forme, par exemple, de politiques contractuelles (contrats d'approvisionnement avec des mareyeurs privés, des transformateurs, opérations de promotion avec les GMS...).

#### ⇒ Interactions des OP entre elles

Plusieurs cas permettent d'illustrer les nouvelles collaborations entre OP. A titre d'exemple, on peut citer :

- la concertation pour la gestion d'espèces saisonnières, comme la convention nationale pour l'organisation de la campagne de thon germon (1994) (*schéma de la convention nationale*) ;
- l'émergence d'associations et de réseaux autour d'intérêts communs et de politiques régionales comme c'est le cas pour :
  - l'AVOP (Association Vendéenne des OP),
  - l'AMOP (Association Méditerranéenne des OP),
  - BQM (Bretagne Qualité Mer) pour la certification filière du produit (4 OP coopératives bretonnes),
  - Halios pour la commercialisation des stocks surgelés (mêmes OP concernées que pour BQM)...

A travers ces différents éclairages qui ne dessinent encore que des pistes ou des tendances du fait de leur jeunesse, il est manifeste que la situation de crise actuelle fait office de révélateur en encourageant les interactions ou en exacerbant les concurrences et, d'une façon générale, en imposant la prise en compte de facteurs et d'échelles d'intervention élargis et la recherche d'économies d'échelle.

On observe donc progressivement un glissement de l'échelle d'intervention des OP du local au régional, voire à l'échelon national. Le défi des années à venir me semble tenir aussi dans la résolution de cet antagonisme entre d'une part, l'élargissement des politiques selon une logique économique et, d'autre part, le fondement de la représentation portuaire des OP pour la défense de l'intérêt des producteurs.

## **ELEMENTS DE CONCLUSION**

En conclusion, il s'agit finalement d'apercevoir à travers ce thème des interactions qu'elles pourront être les nouvelles formes d'intervention des OP, les modalités de leurs stratégies et de leur financement budgétaire dans les années à venir. Il est important dès lors de poser le problème de leur autonomie ou de leur dépendance les unes vis-à-vis des autres dans un contexte de filière qui dépasse aujourd'hui largement le cadre portuaire qui les a vues naître il y a 25 ans.

Enfin, toutes les évolutions et adaptations précitées se rejoignent autour d'un thème central qui est celui de la **recherche d'une échelle d'intervention en cohérence avec les nouvelles composantes du système halieutique**. Ce même système halieutique qui s'inscrit dans un environnement global marqué par la réduction des distances et des délais (du fait des facilités de transport, de communication, à la fois facteurs de rapprochements et de concurrences).

# **Etude de la répartition spatiale des associations d'espèces démersales dans le golfe du Lion par analyse factorielle multiple.**

**J-C. Gaertner<sup>1</sup>**

## **I-INTRODUCTION**

La mise en oeuvre d'approches écologiques visant à approfondir les connaissances sur l'écosystème apparaît comme une des voies susceptibles d'améliorer la gestion des ressources démersales en Méditerranée (séminaire européen d'Ancone, 1992). Inscrit dans cette problématique, le présent travail se focalise sur l'appréhension de la variabilité spatiale des ressources. Il propose une caractérisation de la répartition des principales espèces du golfe du Lion à partir de l'analyse conjointe des données de captures et des paramètres du milieu relevés lors de campagnes de chalutages.

## **II-MATERIEL ET METHODES**

Cette étude est basée sur l'utilisation d'une série d'indices d'abondance collectés au cours de campagnes scientifiques d'évaluation des ressources démersales. Trois campagnes ont été réalisées aux mois de juin 1985, 1986 et 1987 selon un protocole standardisé, basé sur un échantillonnage aléatoire stratifié. L'engin de prélèvement utilisé lors des campagnes est un chalut de fond à deux faces (le Drezen 20 PM) dont l'ouverture verticale ne dépasse pas 1.5 mètre. Pour chaque trait, les densités par espèce ont été ramenées à une unité de surface commune : l'hectare. Pour des raisons techniques, seules les espèces démersales présentes dans au moins dix pour-cent des traits ont été étudiées.

Ces données faunistiques sont analysées conjointement avec les mesures des paramètres du milieu disponibles pour chaque trait. Cette structuration des variables en deux groupes rend délicate l'application des analyses factorielles simples, lesquelles ne permettent pas d'équilibrer l'influence des différents groupes. L'analyse factorielle multiple (AFM) (Escoffier et Pages, 1993) permet de s'affranchir de ce problème, et d'élargir le domaine d'étude en autorisant une typologie comparée des individus et des groupes de variables. Le principe de cette analyse repose sur la définition d'un référentiel commun dans lequel il est possible de décrire simultanément les individus par chacun des groupes de variables pris séparément.

---

<sup>1</sup>Ecologie halieutique. Ifremer, 1 rue Jean Vilar, 34200 Sète

Une AFM portant sur les résultats groupés des trois campagnes est réalisée afin d'améliorer la caractérisation de la répartition des espèces démersales. Cette analyse porte sur deux groupes de variables : le groupe faunistique, concernant les densités par trait des 47 espèces sélectionnées, et le groupe géographique composé des coordonnées géographiques des traits et de leur profondeur. Deux autres groupes (nature du substrat et strate d'échantillonnage), constitués chacun par une variable qualitative (comprenant respectivement 13 et 10 modalités), sont considérés en éléments supplémentaires et n'interviennent donc pas dans la formation des axes factoriels. Le groupe strate est par nature fortement corrélé au groupe géographique. Sa prise en compte a pour seul objectif d'appréhender la variabilité spatiale à une échelle différente de celle utilisée lors de l'analyse de la composition spécifique par traits.

### III-RESULTATS

Les modalités des variables des deux groupes illustratifs sont représentés au centre de gravité des traits de chalut correspondant du point de vue de l'ensemble des variables (fig. 1), et de chacun des groupes (fig. 2). La représentation des traits et des variables sur le premier plan de l'AFM (fig. 1 et 2) met en évidence la prépondérance du facteur d'éloignement à la côte sur la répartition des espèces. Le cortège faunistique varie progressivement le long de cet axe qui est lié avec la nature du substrat (fig. 1) et avec la profondeur (fig. 2). Les espèces côtières (*Trigla lucerna* (TRIU), *Arnoglossus thori* (ARNT), *Trachinus draco* (TRAH), *Buglossidium luteum* (BUGL), etc...) rarement pêchées au-delà de 80 mètres de fond, sont opposées aux espèces du large (*Phycis blennoides* (PHYI), *Lepidorhombus boscii* (LEPM), etc...) couramment observées à des profondeurs supérieures à 150 mètres.

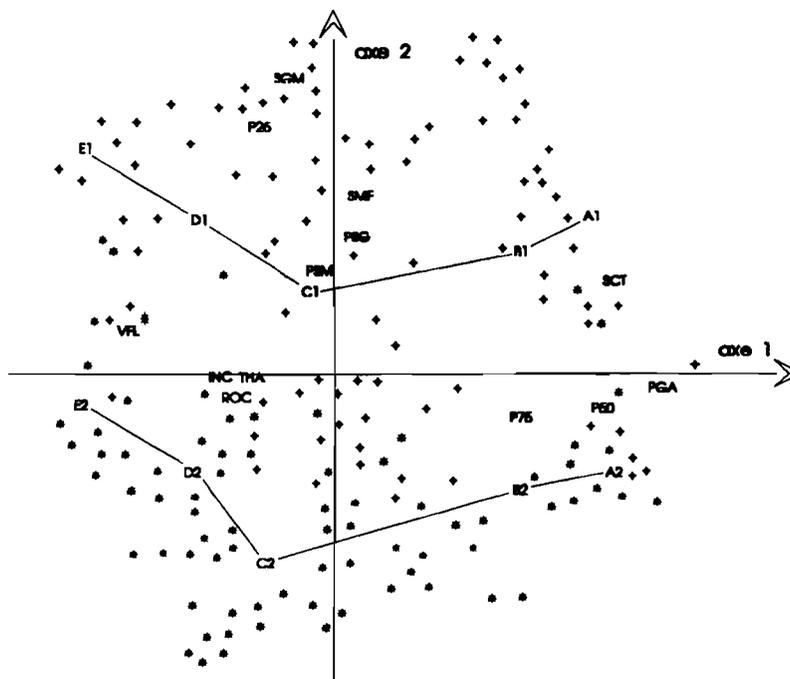


Figure 1. Représentation des traits de chalut et des variables supplémentaires sur le premier plan factoriel de l'AFM. Les symboles  $\square$  et  $\times$  représentent respectivement les traits de la région ouest et ceux de la région est. 1 = ouest, 2 = est, A = zone des 3 milles, B = des 3 milles aux fonds de 80 mètres, C = de 80 à 100 m, D = de 100 à 150 m, E = de 150 à 500 m.

Une deuxième source de variabilité s'exprime selon un gradient est-ouest lui-même corrélé à la nature du substrat, mais indépendant de la profondeur. La séparation des zones ouest (strate 1) et est (strate 2) lors du suivi de l'évolution du gradient côte-large (strate A à E) est logiquement plus marquée lorsqu'on se réfère aux variables géographiques (fig. 2). Elle subsiste lorsqu'on considère les variables faunistiques, excepté en ce qui concerne la strate A. Cette strate côtière ne semble pas présenter une différenciation des prises selon l'axe est-ouest. Il est probable que l'influence terrigène (anthropique ou non) constitue une source de variabilité qui perturbe la zonation longitudinale telle qu'on la retrouve dans des zones plus au large. La distribution géographique des sources d'influence terrigène (étangs, fleuves, ports, etc...) laisse penser que la discrimination du golfe en strates est-ouest ne constitue pas une échelle d'observation suffisamment fine pour étudier la variabilité des espèces côtières le long de cet axe.

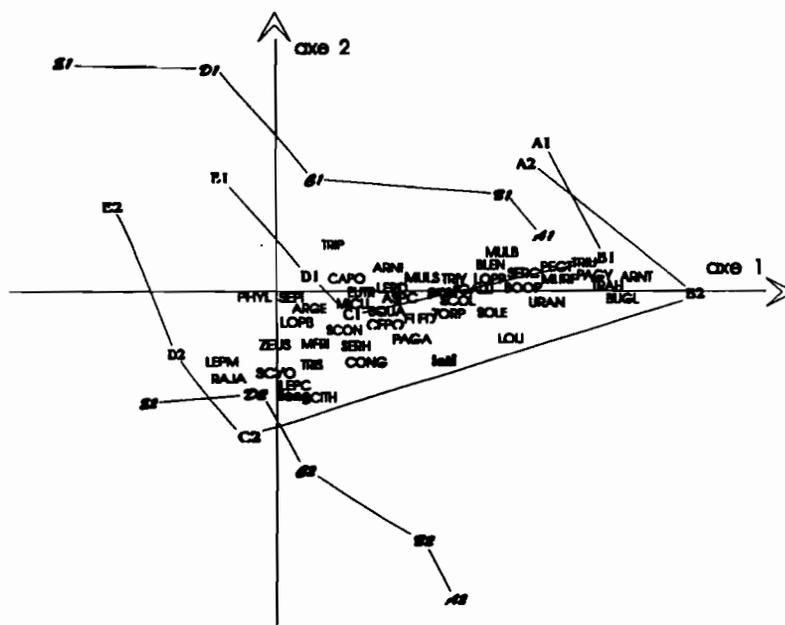


Figure 2. Représentation des variables sur le premier plan factoriel de l'AFM. lati = latitude, long = longitude, prof = profondeur. 1 = ouest, 2 = est, A = zone des 3 milles, B = des 3 milles aux fonds de 80 m, C = de 80 à 100 m, D = zone de 100 à 150 m, E = de 150 à 500 m. A1 = strate perçue à l'aide des variables du groupe 1 (espèces), A2 = strate perçue à l'aide des variables du groupe 2 (coordonnées géographiques). Les codes des espèces (4 lettres) sont donnés en annexe 3.

Les tracés suivant l'évolution, du point de vue des variables faunistiques, du gradient côte-large à l'ouest (de A1 à E1) et à l'est (de A2 à E2) peuvent être utilisés comme des limites arbitraires susceptibles d'apporter une aide à l'étude de la distribution spatiale des espèces (fig. 2). Les espèces situées au dessus de la limite ouest présentent une distribution beaucoup plus marquée (voire exclusive) à l'ouest du golfe. C'est le cas notamment des espèces *Trigloporus lastoviza* (TRIP), *Arnoglossus laterna* (ARNL), *Trigla lyra* (TRİY) et *Trigla lucerna* (TRIU) dont la répartition sur le gradient côte-large concerne principalement la région ouest du golfe en corrélation avec un certain nombre de types de substrat (SGM, P25, SMF, PSG, PSM). La codification du substrat est donnée dans le tableau 1.

Tableau 1. Identification de la nature du substrat d'après Aloisi (1986) et Campillo (1992) :

P75	teneur en pélites >75%
P50	teneur en pélites 25-75 %
P25	teneur en pélites <25%
VFL	vase fine du large
SCT	sablon côtier
SMF	sable fin et moyen
ROC	roches
THA	thanathocoenoses
SGM	mélange sable grossier et fin-moyen
PSM	mélange pélites 25-75 et sable fin-moyen
PSG	mélange pélites 25-75 et sable grossier
PGA	mélange pélites <25% et sable fin-moyen et galets
INC	substrat inconnu

La position de la majorité des espèces entre les bornes définies par les strates est et ouest traduit un mode de distribution non exclusif de l'une ou l'autre des deux régions. Dans cette zone, les espèces situées au voisinage immédiat des strates ouest sont caractérisées par une occurrence relativement plus forte à l'ouest (*Argentina sphyraena* (ARGE), *Cepola rubescens* (CEPO), *Boops boops* (BOOP), *Pagellus erythrinus* (PAGY), etc...) et inversement pour les taxons situés à proximité des strates est (*Lepidorhombus boscii* (LEPM), *Lepidotrigla cavillone* (LEPC), *Citharus linguatula* (CITH), *Loligo vulgaris*, (LOLI), etc..). Plusieurs schémas (répartition ubiquiste, en mosaïque, exclusivement ou à dominance centrale, etc...) peuvent expliquer la distribution des espèces situées à égales distances des strates est et ouest (*Zeus faber* (ZEUS), *Uranoscopus scaber* (URAN), etc...), sans toutefois que l'AFM permette de les distinguer.

## DISCUSSION

L'AFM a permis de confirmer la prépondérance du gradient côte-large identifié dans la phase préparatoire de ce travail, par des analyses factorielles simples. De plus, elle a permis de mettre en évidence une deuxième direction d'inertie expliquant la distribution de certaines espèces selon un gradient longitudinal. Cette étude mérite d'être complétée en considérant d'autres groupes de variables (macrofaune, débit du Rhône) susceptibles d'améliorer la compréhension des mécanismes de répartition des espèces dans l'espace. La définition de zones géographiques couvrant une surface plus réduite que celle

des strates d'échantillonnage, ou la considération de contraintes de voisinages entre traits devrait permettre d'atteindre cet objectif.

### BIBLIOGRAPHIE

- Campillo A., Y. Aldebert, J.L. Bigot et B. Liorzou, 1989. Données sur la distribution des principales espèces commerciales du golfe du Lion. IFREMER DRV-89.041-RH-Sète, 137 p.
- Campillo A., 1992. Les pêcheries françaises de Méditerranée: synthèse des connaissances. IFREMER, *Rapp. int. DRV 92/019-RH Sète*, 206 p.
- Escoffier B., J. Pagès, 1993. Analyses factorielles simples et multiples. *Dunod, Paris*, 274 p.
- Liorzou B., A. Campillo, J.L. Bigot, 1989. Estimation de l'abondance relative de *Lophius budegassa* du golfe du Lion à partir des campagnes de chalutage (1983-1987). *Bull. Soc; Zool. France*. 114 (4), 101-112.

# **Le quatrième coin ou comment interpréter les résultats contenus dans trois matrices de données biologiques, comportementales et environnementales, collectées dans les récifs coralliens d'une île haute en Polynésie Française**

René Galzin<sup>2,4</sup> Pierre Legendre<sup>1</sup>, Mirelle L. Harmelin-Vivien<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Département de Sciences biologiques, Université de Montréal, C.P. 6128, Succ. A, Montréal, Québec, Canada H3C 3J7.

<sup>2</sup>École Pratique des Hautes Études, Laboratoire d'Ichtyoécologie tropicale et méditerranéenne (URA 1453 CNRS), Université de Perpignan, F-66860 Perpignan Cedex, France.

<sup>3</sup>Centre d'Océanologie de Marseille, Station marine d'Endoume (URA 41 CNRS), rue Batterie des Lions, F-13007 Marseille, France.

<sup>4</sup>Centre de Recherches insulaires et Observatoire de l'Environnement, B.P. 1013, Moorea, Polynésie française.

2

**Abstract** — This paper addresses the question of relating the biological and behavioural characteristics of animals to habitat characteristics of the locations where they are found. Ecologists may possess information (i.e., data) about species composition at different localities; habitat descriptions of these localities; and biological or behavioural traits of the species. These data tables are usually analysed two by two: species composition against habitat characteristics, or against behavioural data, using such methods as canonical analysis. We propose a solution to the problem of estimating the parameters describing the relationship between habitat characteristics and biology or behaviour, and of testing the statistical significance of these parameters; this problem is referred to as the fourth-corner problem, from its matrix formulation. Our test case concerns a coral reef fish assemblage (280 species). Parameters of the association between habitat characteristics (distance from beach, water depth, and substrate variables) and different biological and behavioural traits of the species (feeding habits, ecological niche categories, size classes, egg types, activity rhythm) are estimated and tested for significance. They are then compared to predictions made independently by reef fish specialists, in order to assess the method as well as the pertinence of the variables subjected to the analysis. The new method is shown to be applicable to a wider class of ecological problems.

-----

**Etude de l' influence des facteurs hydroclimatiques sur la capture de la civelle  
d'anguille (*Anguilla anguilla L.*) par l'analyse canonique fonctionnelle.**

---

**N.BRU, B.TRUONG et S.DOSSOU-GBETE**  
Laboratoire de Mathématiques Appliquées  
I.P.R.A  
Université de Pau-PAU (FRANCE)

-----

On sait que les facteurs hydroclimatiques jouent un rôle important sur le comportement migratoire des civelles et également sur la capturabilité de cette espèce à ce stade de développement. Ce comportement a été décrit dans ses grandes lignes de par D. Gascuel (1987).

La période de migration anadrome des civelles s'étale principalement du début du mois de Novembre à la fin du mois de Mars. Durant cette période la migration est essentiellement portée.

L'hydrodynamisme (coefficients de marée, débits fluviaux...) et les autres facteurs climatiques (luminosité, température...) jouent donc un rôle important dans la dynamique de migration des civelles qui est elle-même liée à la capturabilité.

Mis à part des analyses descriptives de ce comportement, peu de tentatives ont été faites en ce qui concerne la modélisation de l'action de ces facteurs hydroclimatiques.

C'est dans le cadre de l'étude visant à établir une modélisation stochastique de l'impact des facteurs hydroclimatiques sur la capturabilité des civelles que se situe le travail que nous présentons ici.

Les conditions hydroclimatiques ont été appréhendées à travers les variables suivantes:

- la pluviométrie,
- le débit,
- la température de l' air,
- le coefficient de marée,

ainsi que le nombre de captures par unité d' effort (mesuré en kg par sortie de pêche) de civelles, à l' aide des relevés journaliers faits par les professionnels, à raison de 5 mois par saison de pêche depuis 1984 (10 saisons de pêche sont donc disponibles).

Cette communication présente une tentative d'analyse des liaisons entre les facteurs hydroclimatiques, cités ci-dessus, et le nombre de capture de civelles à travers l'analyse canonique fonctionnelle.

L'analyse canonique fonctionnelle est une extension de l'analyse canonique multivariée classique permettant l'étude des dépendances entre des processus stochastiques, ceux qui décrivent les facteurs hydroclimatiques et le nombre de capture de civelles.

Nous nous efforcerons de présenter les fondements de cette méthode et son application aux données.

## UNE MODELISATION STOCHASTIQUE DE L'IMPACT DES FACTEURS HYDROCLIMATIQUES SUR LES CAPTURES DES CIVELLES D'ANGUILLE

B. Truong-van, S. Dossou-Gbete et N. Bru  
 Laboratoire de Mathématiques Appliquées. URA-CNRS 1204  
 Université de Pau et des Pays de L'Adour

D'après les études biologiques, les remontées des civelles dans l'estuaire dépendent principalement de la température de l'eau et surtout de combinaisons favorables de la marée et des débits fluviaux. Ainsi, un des problèmes de recherche que nous menons conjointement avec la station hydrobiologie INRA et le Laboratoire IFREMER de Saint Pée sur Nivelle, est l'évaluation quantitative de l'impact des conditions hydroclimatiques sur les captures par unité d'effort de civelles, à partir des données temporelles recueillies par cette équipe depuis 1984. Ce sont des données journalières sur 5 mois (de novembre à mars) par an et sur 10 ans. Elles portent sur les captures des civelles par unité d'effort (variables  $X_t$ ), débit (variables  $D_t$ ), températures (variables  $T_t$ ). On dispose aussi des valeurs des coefficients de marée (variables  $C_t$ ) dans les plages d'observations précédentes.

Le problème posé est d'évaluer s'il existe une combinaison des variables  $C_t$ ,  $D_t$  et  $T_t$  qui expliquerait les captures  $X_t$ .

Dans la présente communication, nous proposons une modélisation du problème via la démarche suivante :

(i) Les traitements et l'analyse statistique de chaque série  $C_t$ ,  $D_t$  et  $T_t$  ont permis de révéler que ces séries peuvent être représentées par des modèles AR(p), avec  $p=1$  pour  $C_t$ ,  $D_t$  et  $p=2$  pour  $T_t$ .

(ii) Ces résultats conduisent aux modèles suivants pour les captures par unité d'effort :

$$X_t = m + a_1(C_t + gD_t) + a_2(C_{t-s} + gD_{t-s}) + b_1D_t + b_2D_{t-r} + cT_t + u_t \quad (M1)$$

$$X_t - X_{t-1} = a_1(C_t + gD_t) + a_2(C_{t-s} + gD_{t-s}) + b_1D_t + b_2D_{t-r} + cT_t + u_t \quad (M2)$$

$$(X_t)^\alpha = m + a_1(C_t + gD_t) + a_2(C_{t-s} + gD_{t-s}) + b_1D_t + b_2D_{t-r} + cT_t + u_t \quad (M3)$$

où  $m$  est paramètre de niveau représentant un certain indice d'abondance,  $s$  et  $r$  expriment des décalages en temps et où  $u_t$  est un processus AR(2), traduisant la corrélation temporelle.

Nous présenterons dans cette communication, les résultats sur l'estimation des paramètres de ces modèles, nous discuterons de la validité statistique de ces résultats et des modèles ci-dessus.

# EXPLORATION DANS LE DOMAINE NON-LINEAIRE DES RELATIONS ENTRE L'ENVIRONNEMENT ET LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS MARINES

Philippe CURY \*  
Claude ROY \*

Caractériser et quantifier les effets de l'environnement sur la dynamique des populations marines exploitées demeurent une des principales difficultés dans le domaine halieutique. L'impact de quatre décades de changements environnementaux sur l'anchois de Californie (*Engraulis mordax*) est analysé en utilisant des méthodes statistiques dans le domaine non-linéaire qui prolongent les analyses classiques de régressions multiples linéaires. Les trois techniques utilisées sont: alternating conditional expectation (ACE), additivity and variance stabilization (AVAS), et generalized additive interactive modelling (GAIM). La relation entre l'abondance des larves, l'upwelling et la biomasse total d'anchois ne sont pas linéaires et permettent d'expliquer 84% de la variabilité inter-annuelle tandis qu'une analyse en terme de régression linéaire classique ne permet d'expliquer que 37% de cette variance et rejette l'effet de l'environnement. Les plus fortes abondances de larves sont produites pour des biomasses moyennes voire importantes et pour des valeurs d'upwelling modérées. Ces résultats empiriques suggèrent que les populations marines répondront aux changements climatiques mais pas de manière linéaire. Ces algorithmes statistiques, qui ne sont pas fréquemment utilisés en écologie, constituent des méthodes prometteuses pour explorer la forme des relations entre les changements environnementaux et la réponse des populations marines, même si leur utilisation est parfois limitée par des contraintes d'ordre technique.

---

\* ORSTOM-HEA (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération), 911 Av. Agropolis, BP 5045, 34032 Montpellier Ccdex 1.France. tel: 67 41 94 10. fax: 67 41 94 30

\*\* ORSTOM Brest, BP 70, 29280 Plouzané. tél 98 22 45 13, fax 98 22 45 14. e-mail: croy@orstom.orstom.fr.

# Proposition de communication au deuxième forum halieumétrique

Nicolas Pech

Centre ORSTOM, HEA, B.P 5045, 34032 Montpellier Cedex 1.

29 Mars 1995

L'objet de la communication est la présentation d'un outil d'analyse de données (l'analyse en composantes principales sur variables instrumentales ou ACPVI) qui a été développé à Montpellier et à Lyon (Sabatier, 1987; Sabatier et Lebreton, 1989).

Au travers de l'analyse d'un jeu de données issu de la pêche artisanale Sénégalaise, nous essayerons de montrer quels peuvent être les apports d'un tel outil dans le domaine halieutique.

Le jeu qui sera analysé ici consiste en des moyennes de rendements de pêche concernant 25 espèces débarquées dans deux ports de la côte Sénégalaise. Ces rendements sont donnés par quinzaine de 1975 à 1991. On dispose ainsi d'un tableau ou matrice Y de 816 lignes et 25 colonnes. Chaque colonne (ou variable) contient les rendements d'une espèce, et chaque ligne (ou unité d'observation) les rendements de 25 espèces pour une année, une quinzaine, et un port fixés.

En plus des variables consignées dans la matrice Y et qui seront appelées variables d'intérêt, on peut relever sur les mêmes unités d'observation un ensemble de variables dites de structure. Ces variables seront dans notre exemple les indicatrices des ports, des années et des quinzaînes. Elles sont ici qualitatives, mais on pourrait y ajouter des variables quantitatives telles que des températures d'eau, des indices de salinité,...

Considérons la variable  $Y^l$  (c'est à dire les rendements de l'espèce  $l$ ) dont l'observation est la  $l$  ème colonne du tableau Y. On peut alors représenter  $Y^l$  en se servant des variables de structure au moyen d'un modèle d'analyse de variance. Pour la composante  $Y_{ijk}^l$  (ie l'observation correspondant au port  $i$ , à l'année  $j$  et à la quinzaine  $k$ ), ce modèle s'écrit

$$(1) Y_{ijk}^l = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \xi_{ij} + \eta_{ik} + \tau_{jk} + \delta_{ijk} + \epsilon_{ijk}$$

où  $\mu$  est l'effet commun à toutes les observations.

$\alpha_i, \beta_j$  et  $\gamma_k$  sont les effets principaux port  $i$ , année  $j$ , et quinzaine  $k$ .

$\xi_{ij}, \eta_{ik}, \tau_{jk}$  et  $\delta_{ijk}$  sont les interactions entre les effets principaux.

$\epsilon_{ijk}$  est la résiduelle.

L'estimation des paramètres par l'estimateur des moindres carrés conduit à

$$(2) Y^l = \hat{Y}_\mu^l + \hat{Y}_P^l + \dots + \hat{Y}_{PAQ}^l + \hat{\epsilon}^l$$

où géométriquement chacun des vecteurs de la somme est obtenu en projetant  $Y^l$  sur le sous-espace vectoriel engendré par l'effet correspondant.

Nous avons ici une observation par triplet  $(i,j,k)$  de modalités. Le plan est donc équilibré ce qui a comme conséquence de rendre (via des conditions sur les paramètres) les vecteurs entrant dans la décomposition (2) deux à deux orthogonaux. D'autre part le modèle est ici saturé, donc  $\hat{\epsilon}^l = 0$ .

Nous considérerons le tableau  $Y$  centré et réduit en colonne. L'équation (2) devient alors  $Y^l = \hat{Y}_P^l + \dots + \hat{Y}_{PAQ}^l$

L'orthogonalité a comme conséquence l'additivité des variances de chacun des effets considérés :

$$(3) 1 = \|\hat{Y}_P^l\|_{\mathbb{R}^n}^2 + \dots + \|\hat{Y}_{PAQ}^l\|_{\mathbb{R}^n}^2$$

Le modèle d'analyse de variance que nous avons écrit pour une variable se généralise pour les 25 espèces en un modèle d'analyse de variance multidimensionnel:

$$(4) (Y^1, \dots, Y^p) = (\hat{Y}_P^1, \dots, \hat{Y}_P^p) + (\hat{Y}_A^1, \dots, \hat{Y}_A^p) + \dots + (\hat{Y}_{APQ}^1, \dots, \hat{Y}_{APQ}^p)$$

On décompose ainsi  $Y$  en une somme de 7 matrices, chacune contenant les effets des 25 variables associés à un effet simple, une interaction d'ordre 2 ou une interaction d'ordre 3.

L'analyse exploratoire du tableau de données  $Y$  (une fois centré et réduit en colonnes) peut consister à en faire l'ACP. Ceci revient à faire une analyse des corrélations de nos variables observées. Seulement, son interprétation n'est pas toujours simple.

En effet, considérons deux espèces dont les rendements sont chacun la somme de deux effets simples annuels et saisonniers. Supposons que leurs effets saisonniers soient proches et leurs effets annuels opposés. La représentation dans le plan principal fera apparaître une corrélation des deux variables, mais il ne sera pas forcément aisé de déterminer la cause de cette corrélation.

Une solution à ce type de problème est alors de faire l'ACP (centrée mais qui n'est plus normée à 1) de chacun des 7 "tableaux effets" définis en (4). Les deux espèces apparaîtront corrélées dans l'ACP de  $Y_Q$  (ie quant

à leurs effets saisonniers) et opposées dans l'ACP de  $\hat{Y}_A$  (ie quant à leurs effets annuels). L'ACP de  $\hat{Y}_A$  est définie comme l'ACPVI de Y relativement à l'effet annuel. Cela revient à faire une analyse des corrélations entre variables relativement à un facteur sans interférer (au sens de l'orthogonalité entre sous espaces) avec les autres facteurs définis par les variables de structure.

L'ACPVI fait ainsi intervenir l'approche analyse de variance (ie la décomposition d'un effet général en somme d'effets simples ) et l'approche ACP (ie recherche de variables artificielles combinaisons linéaires des variables étudiées et qui vont en constituer un résumé).

A partir de l'analyse des ACPVI de Y relativement à chacun des effets que nous avons définis, nous essayerons de dégager un ensemble de comportements types caractéristiques des espèces étudiées.

Cette analyse s'appuyera sur une présentation graphique des résultats (représentations dans les plans principaux, reconstitutions des effets par les axes des ACPVI correspondants).

Une fois défini cet ensemble de comportements types, nous pouvons nous demander s'ils ne peuvent pas être utilisés pour construire un modèle statistique du tableau initial Y c'est à dire une description des données sous la forme d'un effet systématique plus un résumé sur la nature et l'ampleur des variations inexplicées (Mac Cullagh et Nelder, 1989).

Nous chercherons ce modèle parmi les modèles linéaires multidimensionnels de la forme :

$$(5) (Y^1, \dots, Y^p) = (\sum_{r=1}^k a_r^1 x_r, \dots, \sum_{r=1}^k a_r^p x_r) + (\epsilon_1, \dots, \epsilon_p)$$

où la résiduelle estimée n'est plus nulle, et où les variables  $x_r$  sont définies à partir de l'ensemble des comportements types.

Nous définirons plusieurs modèles possibles de la forme (5). En utilisant des critères de sélection de modèles multidimensionnels (Bedrick et Tsai, 1994), nous en choisirons alors un. Ce modèle constituera notre synthèse du tableau initial.

## **Prédiction de la composition spécifique du peuplement piscicole en milieu fluvial par des méthodes connexionnistes.**

### **Application au bassin de la Seine**

Philippe Boët<sup>1</sup> et Thierry Fuhs<sup>2</sup>

#### **Introduction**

Les communautés ichtyologiques sont l'expression de processus biologiques fondamentaux (reproduction, nutrition, abri...) s'exprimant à différentes échelles de temps et d'espaces. Elles peuvent être considérées à juste titre comme de bons indicateurs de l'état de santé des écosystèmes aquatiques (Fausch, 1990).

L'identification, la hiérarchisation et l'évaluation des différents facteurs-clés responsables de l'état actuel de ces communautés sont des outils indispensables à la conservation ou à la restauration des peuplements et des milieux.

Une première synthèse concernant le bassin de la Seine a permis de dégager les facteurs majeurs contribuant à l'organisation actuelle du peuplement piscicole à l'échelle de l'ensemble du réseau hydrographique (Belliard, 1994), les caractéristiques de milieu liées à l'organisation longitudinale et régionale du bassin s'avérant déterminantes.

Ces travaux s'appuient essentiellement sur l'exploitation d'une importante base de données déjà acquises, regroupant des résultats d'inventaires *in situ* réalisés par pêche à l'électricité (plus de 700 pêches réparties sur 583 stations, représentant plus de 200 000 poissons appartenant à 39 espèces). La nature de ces données est très hétérogène. D'une part, parce qu'elles résultent d'échantillonnages mis en œuvre pour répondre à des objectifs variés, et d'autre part, à cause des biais inévitables inhérents à la technique de capture utilisée, notamment dans le cas de grands cours d'eau.

Si elle s'avérait efficace, la mise en relation des descripteurs du milieu et des espèces piscicoles présentes, permettrait de préciser davantage l'importance relative de ces variables de milieu dans les mécanismes de structuration des communautés et de tester l'impact de différentes perturbations. Pour y parvenir, la modélisation serait d'un grand recours mais celle-ci se heurte à l'extrême complexité des systèmes étudiés.

C'est pourquoi nous avons tenté d'utiliser des réseaux connexionnistes, capables de résoudre des problèmes non-linéaires et robustes vis-à-vis de jeux de données bruitées ou incomplètes, afin de prédire la composition d'un peuplement piscicole en fonction des caractéristiques du milieu étudié.

#### **Méthodologie**

L'objectif de notre modèle prédictif est donc de relier caractéristiques du milieu et présence-absence de poissons. Il s'agit d'un problème de reconnaissance des formes, pour lequel l'utilisation de réseaux

---

<sup>1</sup> Cemagref Antony, division qualité des eaux, 14 avenue de Saint-Mandé, 75012 Paris

<sup>2</sup> Cemagref Antony, division électronique et intelligence artificielle, Parc de Tourvoie BP 121, 92185 Antony Cedex

adresse actuelle : ENSAI, Timbre J220, 3 avenue Pierre Larousse, 92245 Malakoff Cedex

connexionnistes multi-couches associés à l'algorithme de rétropropagation du gradient ont montré leur intérêt (Rumelhart & McClelland, 1986). Nous avons donc privilégié cette démarche dans notre approche initiale.

Néanmoins, la mise en œuvre effective d'une telle méthodologie présuppose un examen plus attentif des données disponibles. Idéalement, en effet, un réseau multi-couches devrait prendre en entrée les paramètres de milieu (une quinzaine de variables) et en sortie la présence-absence de toutes les espèces (39 au total). Ceci représente  $15 \times N \times 39$  paramètres à calculer (les poids des connexions), où  $N$  est le nombre d'unités de la couche cachée, ce qui est illusoire avec seulement 700 pêches disponibles.

C'est pourquoi, nous avons diminué la taille des réseaux de deux manières :

- en entrée, par l'analyse préalable des corrélations entre variables qui nous a conduit à n'en retenir que 8 ;
- en sortie, en effectuant l'étude espèce par espèce, ce qui a permis de n'avoir qu'une unité en sortie, au détriment bien entendu du nombre de réseaux entraînés.

Pour la couche cachée, nous avons recherché par tâtonnement la meilleure valeur du nombre d'unités.

Il a en outre été nécessaire de se prémunir des biais d'échantillonnage. Ceux-ci peuvent être de deux types :

- d'une part, les données sont en général mal réparties entre présence et absence. La classe la plus nombreuse a alors une influence artificiellement plus grande dans le calage des poids du réseau.
- d'autre part, le découpage de la base des pêches en base de test et base d'apprentissage ne peut être *a priori* homogène du fait du nombre limité de pêches. Ceci peut entraîner des taux de généralisation inutilisables car sans rapport avec la distribution sous-jacente.

Pour le premier biais, nous avons choisi de multiplier aléatoirement les exemples de la classe la moins nombreuse de manière à obtenir pour chaque espèce, une répartition équitable entre présence et absence (en fait un rapport entre 0,4 et 0,6 a été considéré comme satisfaisant).

Pour le second, nous avons effectué une "validation croisée par blocs". Cela signifie que nous avons d'abord découpé l'ensemble de la base en trois parties de cardinal égal. Puis, nous avons entraîné chaque réseau sur les deux tiers de la base et l'avons ensuite testé sur le troisième tiers pour estimer sa performance en généralisation. Ceci était répété trois fois, en permutant les trois parties. Nous avons enfin calculé le taux de généralisation moyen et l'écart-type associé.

## Résultats

Eprouvée à l'échelle du bassin de la Seine et en fonction de descripteurs très globaux de la qualité du milieu aquatique (8 variables synthétiques d'entrée), la prédiction de la présence d'espèces par des réseaux connexionnistes multi-couches s'avère pertinente.

Bien qu'il soit en théorie possible de traiter toutes les espèces ensemble, le calage des paramètres, qui, outre des temps de calcul considérables, aurait exigé un plus grand nombre d'exemples, a entraîné la nécessité de construire un réseau par espèce.

18 ont été testées, choisies parmi les plus représentatives sur le bassin.

Le nombre de neurones requis dans la couche cachée varie selon les espèces (de 3 à 8), révélant ainsi différents paysages d'erreur, constitués de régions assez stationnaires pour de nombreuses espèces ou plus tourmentées pour certaines, paraissant pouvoir se rapporter à leur écologie.

Alors que les données d'entrée sont assez fortement bruitées, les taux de réussite en généralisation varient de 70 à plus de 85 % selon les espèces, ce qui représente des performances très appréciables, excepté pour le goujon et la truite arc-en-ciel, à cause de leurs particularités écologiques.

### **Conclusions et perspectives**

Ces résultats sont très encourageants car à l'heure actuelle, il n'existe pas encore de modèles prédictifs "poissons" à l'échelle du bassin fluvial.

Ces résultats se concentrent sur la prédiction d'une espèce donnée, alors que nous aspirions à travailler directement sur le peuplement. Ceci ne pouvant être fait avec toutes les espèces en même temps, il faudrait retraiter les données des pêches afin d'identifier les différents types de peuplement en place et entraîner ensuite des réseaux multicouches où la sortie ne serait plus une espèce particulière mais un peuplement donné. Les problèmes sont donc avant tout de définir écologiquement ces peuplements.

Déjà très satisfaisants compte tenu de la nature des données traitées, ces résultats devraient pouvoir être encore améliorés. En particulier, malgré l'influence connue des facteurs régionaux sur la composition du peuplement, le paramètre "région écologique" n'a pas été pris en compte à cause des problèmes de codage liés à son caractère purement qualitatif. Mais il conviendrait cependant de vérifier la qualité des résultats en ajoutant ce paramètre.

En outre, l'importance relative de certaines variables d'entrée vis-à-vis des différentes espèces mérite encore d'être précisée. La considération des classes d'abondance relative des différentes espèces devrait également conduire à de meilleures prédictions.

Néanmoins il serait d'ores et déjà intéressant d'étudier avec un tel réseau connexionniste, les conséquences de changements de milieu d'origine naturelle ou anthropique sur la composition des peuplements de poissons à l'échelle du bassin hydrographique. Parmi les variables d'entrée certaines décrivent en effet la morphologie du milieu ou sa position dans le gradient amont-aval et ont un caractère figé. D'autres au contraire traduisent une perturbation (physique ou chimique) et sont susceptibles de constituer un premier élément du diagnostic d'un éventuel déséquilibre du peuplement piscicole en place ; encore très synthétiques actuellement, comme par exemple la note de qualité de l'eau, elles pourraient être décomposées afin d'affiner un tel diagnostic.

À terme, des applications concrètes pourraient être envisagées comme par exemple établir le peuplement théorique de référence en un lieu donné, permettant de mesurer ensuite d'éventuels décalages, ce qui constituerait alors un précieux outil de gestion.

### **Références**

- Belliard J. (1994) - Le peuplement ichtyologique du bassin de la Seine : rôle et signification des échelles temporelles et spatiales. *Thèse Doct. Paris VI*, : 197 p.
- Fausch K.D., Lyons J., Karr J.R. & Angermeier P.L. (1990) - *Fish communities as indicators of environmental degradation*. p. 123-144, *In* : S. M. Adams (Ed.), *Biological indicators of stress in fish*, American Fishery Society Symposium 8.
- Rumelhart, D.E. & McClelland, J.L. (1986) - *Parallel distributed Processing*, MIT Press, Cambridge, MA.

# MODELE NEURONAL VERSUS REGRESSION MULTIPLE DE PREDICTION DES NIDS DE TRUITE

Marc DELACOSTE<sup>(\*\*)</sup>, Sovan LEK<sup>(\*)</sup>, Philippe BARAN<sup>(\*\*)</sup>, Ioannis DIMOPOULOS<sup>(\*)</sup> et Jean-Luc GIRAUDEL<sup>(\*)</sup>

<sup>(\*)</sup> : Laboratoire de Biologie quantitative, Univ. Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse cedex, FRANCE.

<sup>(\*\*)</sup> : Laboratoire d'Ingénierie agronomique, équipe Ichtyologie appliquée, ENSAT, 145 avenue de Muret, 31076 Toulouse, FRANCE.

## RESUME

Deux principes de modélisation sont discutés: la régression multiple (RM) et les réseaux de neurones artificiels (RN). La RM, principe de modélisation linéaire, est souvent moins performante lorsque les relations entre variables sont non-linéaires. En écologie les relations sont justement rarement linéaires; on est ainsi amené à transformer certaines variables afin de linéariser le système. Malgré ces manipulations, le résultat reste souvent décevant: mauvaise prédiction, dépendance des résidus avec la variable dépendante, etc... Les RN sont des modèles de type non-linéaires. Ils ne nécessitent aucune transformation de variables et donnent dans l'ensemble de meilleurs résultats. L'application de ces 2 techniques sur des données écologiques (relation entre densité de nid de truite et paramètres du milieu), montre que les RN sont nettement plus performants ( $R^2=0.96$  vs  $R^2=0.65$  en RM).

## 1. INTRODUCTION

Les modèles d'habitat, modèles déterministes ou stochastiques mettant en relation les variables du milieu et les caractéristiques des populations piscicoles (abondance numérique et pondérale, potentiel de reproduction, croissance,...) sont d'excellents outils d'aide à la décision. Faush *et al*, 1988, recensent 95 modèles de ce type. Sur ces 95 modèles, la plupart sont construits à partir de régressions linéaires. Cette procédure sous entend une linéarité des relations, plutôt rare en écologie.

Les réseaux de neurones artificiels, connus pour leur capacité à traiter des relations non-linéaires (Chen *et al*, 1990), peuvent être d'une grande utilité dans la modélisation de certains processus écologiques.

Dans ce travail, nous nous proposons de comparer la capacité prédictive de la régression multiple par la méthode des moindres carrés avec celle d'un réseau neuronal. Les valeurs prédites par les modèles seront comparées à des valeurs observées des données biologiques : prévision de la densité de frayères (nid) de truites communes (*Salmo trutta* L.) à partir de variables de l'habitat physique, dans 6 rivières pyrénéennes (SW France).

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. DONNEES BIOLOGIQUES

29 stations d'études réparties sur 6 rivières des Pyrénées centrales ont été subdivisées en 205 faciès d'écoulement ou unités morphodynamiques. Les caractéristiques physiques des 205 faciès d'écoulement ont été mesurées en janvier, immédiatement après la période de reproduction de la truite commune (*Salmo trutta* L.). Ainsi, les caractéristiques mesurées reflètent le plus fidèlement possible les conditions rencontrées par la truite lors de sa reproduction.

### 2.2. TRAITEMENT DES DONNEES

#### 2.2.1. Régression linéaire multiple

La technique de régression multiple progressive (Tomassone *et al*, 1983) a été utilisée. Nous effectuons également la RM avec la totalité des variables (pour une comparaison avec les RN). Les calculs ont été effectués avec le logiciel SYSTAT.

#### 2.2.2. Réseau de neurones

Nous proposons ici une méthode de modélisation basée sur l'un des principes des réseaux neuronaux, l'algorithme de rétropropagation (Rumelhart *et al*, 1986). Il s'agit d'un principe mathématique de modélisation construit sur le mode de fonctionnement des neurones humains avec une fonction qui transforme l'activation en réponse de type non linéaire.

Un réseau avec rétropropagation comporte typiquement trois types de couches de cellules : une couche d'entrée, une (ou plusieurs) couche(s) cachée(s) et une couche de sortie comportant un ou plusieurs neurones. Tous les neurones d'une couche donnée, sauf ceux de la dernière couche, émettent un axone vers chaque neurone de la couche en aval. Dans la majorité des cas, pour limiter le temps de calcul et surtout lorsque les résultats attendus sont satisfaisants, c'est un réseau à une seule couche cachée qui est utilisé.

La couche d'entrée comporte  $n$  cellules codant les  $n$  informations ( $X_1...X_n$ ) à l'entrée du réseau. Le nombre de cellules de la couche intermédiaire est choisi par l'utilisateur selon la fiabilité des résultats désirée. Enfin, la couche

de sortie comporte une seule cellule correspondant à la valeur à prédire. A chaque connexion entre les cellules de deux couches successives est associée un poids modifiable au cours de l'apprentissage (itérations successives) en fonction des données en entrée et en sortie.

La technique de rétropropagation s'apparente à un apprentissage supervisé (pour apprendre, le réseau doit connaître la réponse qu'il aurait dû donner). Elle modifie ensuite l'intensité de connexion de manière à minimiser l'erreur de la réponse considérée. Pour éviter les phénomènes de surapprentissage (modélisation du bruit), nous avons utilisé des réseaux à 8 neurones intermédiaires et nous avons arrêté l'apprentissage à 1000 itérations.

### 2.2.3. Techniques de modélisation

La modélisation se fait selon deux étapes :

- Dans le premier temps, nous modélisons avec la totalité des enregistrements disponibles dans le jeu de données, (en observant le comportement du réseau vis à vis de la base de données au long des 1000 itérations avec les RN).
- Dans le deuxième temps, nous avons procédé à des tirages aléatoires pour obtenir chaque fois un ensemble d'apprentissage (¾ des enregistrements, soit 154) et un ensemble de validation (¼ des enregistrements, soit 51) sur la totalité des observations. L'opération a été répétée 5 fois donnant lieu à 5 épreuves *test1*, *test2*, *test3*, *test4* et *test5* que nous étudions en RN et en RM. Pour chacun de ces 5 jeux, nous effectuons un calage du modèle avec l'ensemble d'apprentissage et nous testons ensuite ce modèle avec l'ensemble de validation.

### 2.2.4. Indices de performance

Pour juger la qualité des résultats obtenus en RM et en RN, trois méthodes ont été utilisées :

- la mesure du coefficient de corrélation R entre les valeurs observées et les valeurs calculées, et le coefficient de détermination  $R^2$ .
- le calcul d'un indice de qualité globale de prédiction AV (Iek *et al.*, 1994).

## 3. RESULTATS

### 3.1. CALAGE DU MODELE

En RM, les valeurs du coefficient de détermination indiquent une nette amélioration du modèle après transformation des variables (tab. 1). Cette dernière opération améliore en effet la linéarité entre les différentes données. En incluant toutes les variables indépendantes disponibles dans le modèle, nous n'avons qu'une très légère augmentation de  $R^2$ . Les variables supplémentaires n'apportent que peu d'informations complémentaires.

En RN, les modèles établis avec les mêmes types de variables, montrent une très nette amélioration des résultats, aussi bien dans le cas des variables transformées que dans celui des variables non transformées. Les variables supplémentaires apportent bien des informations spécifiques. La modélisation avec les variables non transformées donnent des résultats nettement meilleurs (tab. 1).

Nombre de Variables explicatives	Transformation		Non Transformation	
	RM	RN	RM	RN
4	0.643	0.741	0.444	0.928
9	0.650	0.811	0.469	0.958

Tableau 1: Coefficients de détermination obtenus par les modèles RM et RN avec différents variables transformées ou non en fonction du nombre de variables explicatives.

En RM, on a une sous-estimation des fortes valeurs et surestimation des faibles valeurs (fig. 1). Soulignons également la difficulté pour le modèle RM à prédire les valeurs nulles qui se traduit sur le graphique par une bande verticale. Il faut noter enfin la prédiction de valeurs négatives, surtout pour les faibles valeurs.

En RN avec 4 variables explicatives (RN4), on obtient une sous estimation de nombreuses fortes valeurs. Comme dans le cas de RM, le modèle a des difficultés pour prédire les valeurs nulles, mais uniquement lorsqu'on transforme les variables. Dans le cas des variables non transformées, on observe par contre un meilleur ajustement des points, surtout pour les faibles valeurs. En RN avec la totalité des variables disponibles (RNT), le problème reste posé avec les variables transformées pour les valeurs nulles, ainsi que certaines faibles valeurs. Par contre, pour le cas des variables non transformées (données brutes), nous obtenons un excellent modèle capable de restituer les valeurs observées sur toute l'étendue de la variable dépendante. Notons enfin que le RN, contrairement à la RM, ne prédit jamais de valeurs négatives.

En conclusion, pour obtenir le meilleur modèle, il faut utiliser sur les données étudiées un réseau de neurones avec la totalité des variables disponibles sans transformations.

### 3.2. TEST DU MODELE :

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 2. La puissance de prédiction des différents modèles déterminés à partir de 5 fractions d'apprentissage a été testé sur 5 fractions test indépendants des premiers.

En RM les coefficients de détermination sont faibles dans les 2 jeux.  $R^2_{learn}$  est en moyenne de 0.468 pour l'ensemble d'apprentissage et de  $R^2_{test} = 0.371$  dans l'ensemble de validation. Les faibles valeurs de AV sont expliquées par des faibles valeurs des  $R$  dans les deux ensembles, mais aussi par leurs écarts souvent relativement importants. En RN, le coefficient de corrélation est élevé aussi bien dans le jeu d'apprentissage que dans le jeu de validation (moyennes de  $R^2_{learn} = 0.81$  et de  $R^2_{test} = 0.785$ ). La forte valeur de l'indice de qualité globale de prédiction AV est expliquée par les valeurs élevées de  $R$  dans les deux jeux et par leurs faibles différences.

Numéro Test	RN			RM		
	$R_{learn}$	$R_{test}$	AV	$R_{learn}$	$R_{test}$	AV
1	0.892	0.862	29.343	0.685	0.487	2.961
2	0.914	0.888	34.926	0.685	0.628	11.377
3	0.904	0.906	502.944	0.690	0.626	10.315
4	0.883	0.867	54.031	0.688	0.566	5.128
5	0.905	0.906	1131.750	0.669	0.740	9.995
Moyenne	0.900	0.886	350.599	0.684	0.609	7.955

Tableau 2: Résultats des modélisations en RN et en RM sur des fractions d'apprentissage issus du tirage aléatoire de  $\frac{3}{4}$  des enregistrements et prédiction sur les fractions test composées des  $\frac{1}{4}$  autres enregistrements.  $R_{learn}$ : coefficient de corrélation entre valeurs calculées et observées sur l'ensemble d'apprentissage;  $R_{test}$ : coefficient de corrélation pour l'ensemble de validation; AV: indice de qualité globale de prédiction.

#### 4. CONCLUSION

En écologie, la RM est un des procédés de modélisation prédictive le plus utilisé à l'heure actuelle. Elle est simple à mettre en œuvre si les relations entre les variables sont linéaires. Si ces relations sont non-linéaires, un travail préliminaire de transformation des variables est nécessaire. Il tend en effet à minimiser la non-linéarité dans le processus. On peut également combiner des variables ou en éliminer certaines pour essayer d'aboutir à un modèle capable de donner une meilleure prédiction. Malgré toutes ces transformations, les résultats obtenus sont parfois non optimaux. Le modèle se trouve souvent confronté à des prédictions de valeurs négatives ou à la liaison des résidus avec la variable dépendante.

Les RN constituent une approche alternative et nouvelle en écologie. Ils sont capables de travailler avec des variables en relation non-linéaire. Ils sont relativement faciles à mettre en œuvre et ne posent aucune contrainte sur les variables en jeu (normalité linéarité, etc.). Si la transformation des variables permet d'améliorer les résultats en RM les RN donnent toujours de meilleurs résultats avec des variables non transformées.

A travers cet exemple emprunté en ichtyologie, les RN apparaissent comme une alternative puissante et performante aux méthodes traditionnelles de régression multiple.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Chen S., Billings S. A. and Grant P. M. (1990). Non-linear system identification using neural networks. *Int. J. Control*, 51(6), 1191-1214.
- Faush, K.D., Hawkes, C.L., Parsons, M.G., 1988. Models that predict the standing crop of stream fish from habitat variables, U.S. Forest Service General Technical Report PNW-GTR - 213.
- Lek S., Lauga J., Giraudel J.L., BARAN P. et DELACOSTE M., 1994 - Example of an application of formal neural networks in the environment sciences. Proc. Intern. Meeting Ecology and Statistical methods, NIORT (France), 5-6 octobre 1994, 73-82.
- Rumelhart D. E, Hinton G. E and Williams R. J.(1986). Learning internal representations by error propagation. In *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Micro-structure of Cognition*, edited by Rumelhart D.E and McClelland J.Wi., pp 318-362 (Cambridge, MA:MIT Press).
- Tomassone R, Lesquoy E. and Miller, C., 1983. La régression, nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique. INRA actualités scientifiques et agronomiques, 13, Paris, 177p.

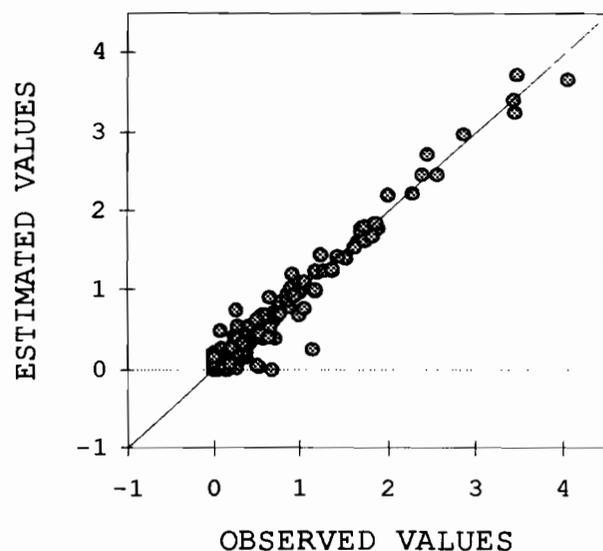
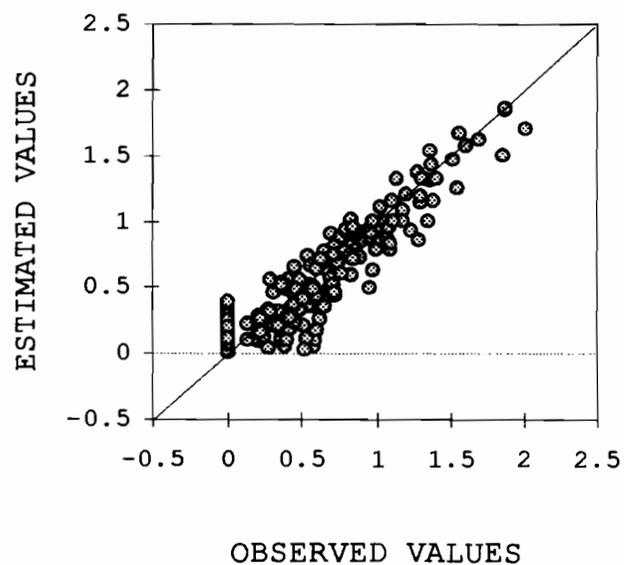
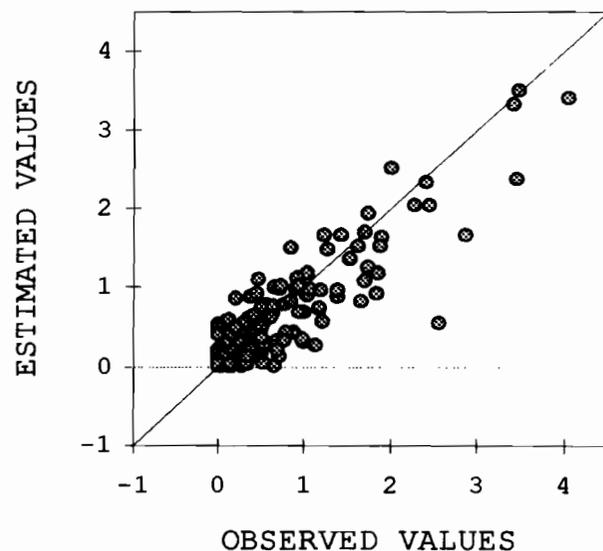
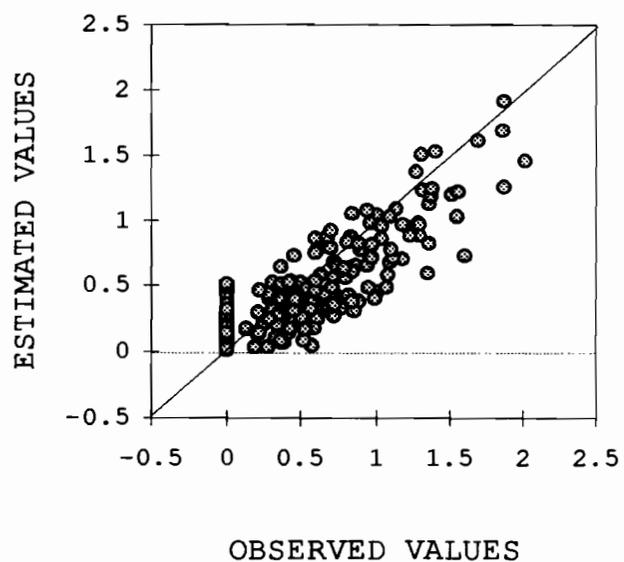
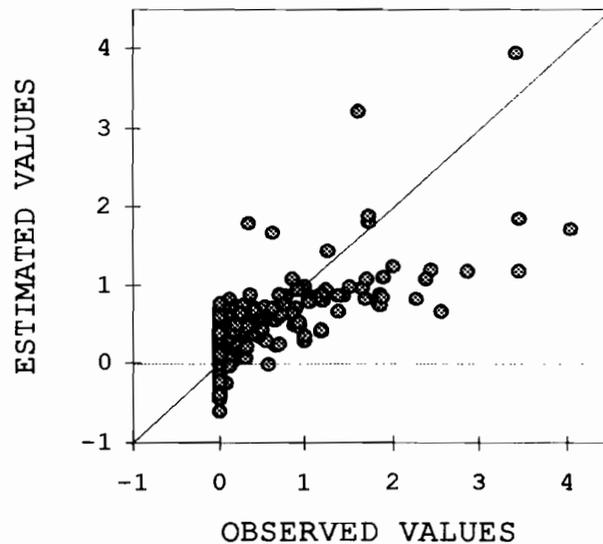
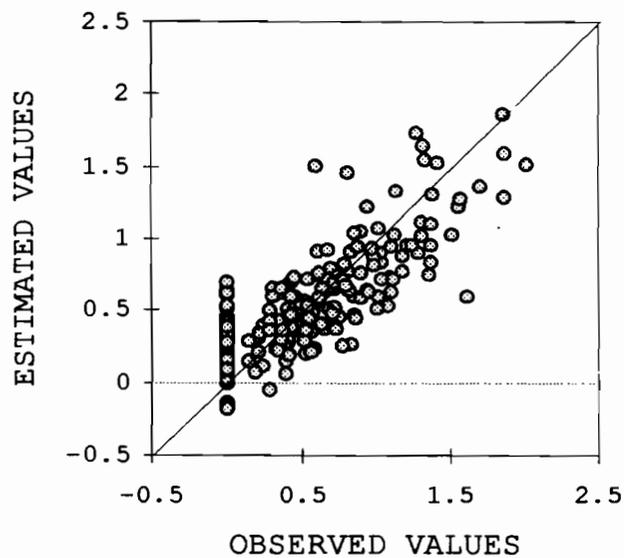


Figure 1 : Graphe de corrélation entre les valeurs observées et les valeurs estimées par différents types de modèles. En haut : RM; au milieu : RN avec 4 variables; en bas : RN avec la totalité des variables. A gauche : avec transformation de variables; à droite : sans transformation de variables.

# Une approche numérique / symbolique pour l'extraction et la formalisation de connaissances :

Application à la description de tactiques de pêche artisanale au Sénégal

Huyen TONG, Emmanuel PÉRINEL

LISE CEREMADE - Université Paris IX-Dauphine  
Place du M<sup>o</sup>l de Lattre de Tassigny, 75775 Paris cedex 16

**Résumé :** Dans le cadre d'un projet visant à modéliser le système de la pêche artisanale au Sénégal, nous proposons une approche de type numérique / symbolique permettant d'extraire et de formaliser la notion de tactique de pêche. A partir de groupes de comportements de pêche homogènes obtenus par une méthode de classification automatique, deux approches sont proposées afin d'obtenir une représentation explicite de chacun des groupes (associés à une tactique possible). La première consiste à utiliser un algorithme d'apprentissage supervisé tandis que la seconde approche extrait les caractérisations des groupes à travers une méthode de segmentation. Les deux approches fournissent une description des tactiques en termes de conjonctions de propriétés logiques et sont formalisées dans le langage des objets symboliques.

## 1. Introduction.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet global développé par l'ORSTOM intitulé "Interaction entre Analyse de Données, Intelligence Artificielle et Modélisation Mathématique pour la simulation de la pêche artisanale au Sénégal".

Afin de mieux cerner la dynamique de ce type de pêcherie, plusieurs travaux ont été développés, en particulier à travers l'étude du comportement du pêcheur interagissant avec son environnement [Ferraris, Le Fur, 93]. Dans ce contexte, la notion de *tactique de pêche* [Ferraris, Sumba 91] a été définie comme la combinaison de différents paramètres relatifs à des choix réalisés par le pêcheur durant son activité, tels que : les espèces ciblées en priorité, le lieu de pêche, l'importance de l'équipage embarqué ou encore le type d'engin utilisé. Cette notion a ainsi permis de décrire et de résumer un aspect de la dynamique de la pêcherie par quelques connaissances ou concepts généraux traduisant des comportements types des pêcheurs artisans durant une période donnée.

Dans ce travail, nous présentons une méthodologie de nature numérique / symbolique (figure ci-après) permettant de représenter et de formaliser rigoureusement la notion de tactique de pêche. A partir d'un même traitement initial (constitution de groupes homogènes de comportements de pêche par classification hiérarchique ascendante), une double approche est proposée afin de construire une représentation explicite de chacun des groupes de la typologie obtenue.

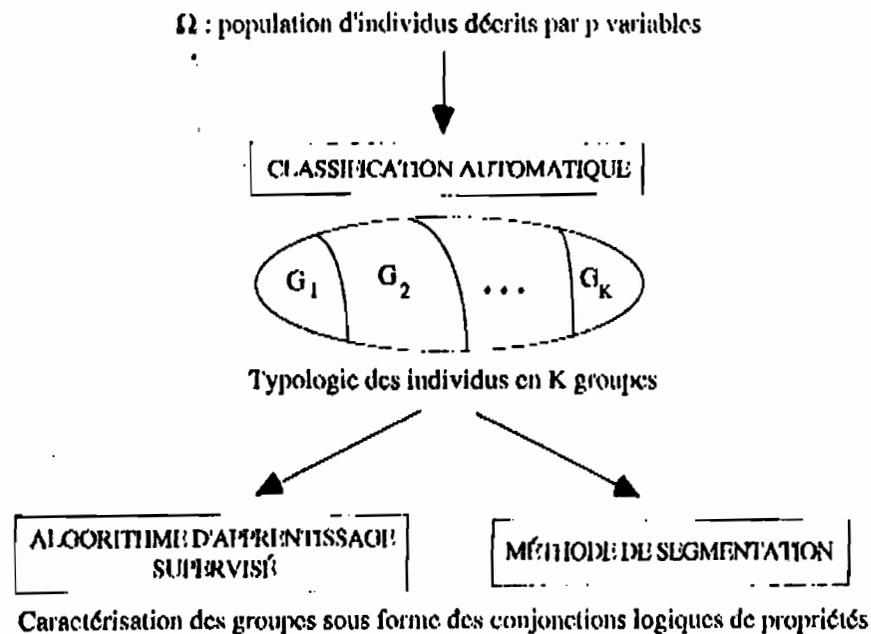
- la première est basée sur un *algorithme d'apprentissage*, dit supervisé, issu du domaine de l'Intelligence Artificielle ;
- la seconde approche consiste à utiliser une *méthode de segmentation* construisant un arbre de décision binaire.

Dans le cadre du projet mopa [Le Fur, 90], différents résultats ont déjà été obtenus sur la base du premier type de techniques à partir de données relatives aux sorties en mer de 13 pêcheurs issus du port de Kayar pendant une période d'un mois [Tong 94], [Périnel 91].

## 2. Position du problème

Les méthodes de classification automatique (telles que la CAH) possèdent une caractéristique essentielle : les groupes sont obtenus en agrégeant des individus présentant de fortes ressemblances, celles-ci étant évaluées de manière *globale sur l'ensemble des attributs*. On qualifie parfois les groupes obtenus par ces techniques de *polythétiques* pour traduire le fait qu'il n'est pas possible en général de les caractériser par un ensemble de propriétés qui

seraient vérifiées par la totalité des individus du groupe (caractérisation *monothétique*) ; par exemple, une classe de pêcheurs se rendant tous au lieu de *Mboro* pour cibler l'espèce *thiof*.



L'interprétation fournie par les logiciels standards d'analyse de données qui en résulte est parfois délicate dans la mesure où il est difficile de retrouver comment sont combinées entre elles les différentes modalités caractéristiques de la classe. En d'autres termes, le problème peut être formulé comme suit : comment mettre en évidence au sein d'une classe de nature polythétique des liaisons ou dépendances logiques entre modalités - définissant des groupes de type monothétiques - afin de fournir une description plus explicite de l'ensemble ?

### 3. Approche par apprentissage supervisé

En analyse des données, on a pour habitude de distinguer les méthodes visant à construire des classes d'individus (classification) de celles cherchant à les expliquer (discrimination). On retrouve également cette distinction dans le domaine de l'apprentissage symbolique automatique où ces deux grandes catégories de problèmes sont abordées respectivement par les techniques d'apprentissage non supervisé (ou classification conceptuelle) et celles d'apprentissage supervisé.

A la différence cependant des méthodes d'analyse des données multidimensionnelles, ces dernières, sur la base d'un formalisme d'ordre logique, ont une démarche fondée essentiellement sur la relation de spécialisation / généralisation à travers un traitement unidimensionnel de l'information. Cette spécificité permet de construire des caractérisations explicites de populations d'individus sous forme de conjonctions de propriétés logiques.

La méthode que nous proposons maintenant est une adaptation de l'algorithme supervisé CABRO [Hlo et al. 91], [Gettler et al. 93].

On dispose initialement d'une population partitionnée en deux groupes respectivement appelés *exemples (E)* et *contre-exemples (CE)*. L'objectif est de fournir une description du groupe *E*. Le principe consiste à rechercher de manière itérative des sous-populations de type monothétique (i.e. auxquelles on peut associer un ensemble de propriétés satisfaites par tous les éléments du groupe) comprenant le maximum d'éléments de *E* et le minimum d'individus de *CE* ; ceci jusqu'à avoir recouvert l'ensemble des éléments de *E*. La recherche de la première sous-population est effectuée comme suit :

- 1 De manière naturelle, on essaie de construire en priorité une description satisfaite par le plus grand nombre d'éléments de  $E$ . Pour cela, on sélectionne l'individu  $\omega^*$  "le plus caractéristique" de  $E$ , i.e. celui dont les modalités composant sa description possèdent globalement un meilleur score au sens de la valeur-test [Alevizos, morineau 92] (indicateur statistique de significativité fourni par le logiciel SPAD.N au niveau de l'interprétation des classes).
- 2 On retient les  $K$  meilleures modalités  $m_k^*$  décrivant  $\omega^*$ . Chacune d'elle va constituer un point de départ possible pour former la première meilleure caractérisation de  $E$ .
- 3 On évalue tout d'abord la qualité d'une modalité  $m_k^*$  de la façon suivante : chaque modalité  $m_k^*$  définit une propriété qui est satisfaite par un sous-ensemble d'individus de  $E$ , appelé extension de  $m_k^*$  dans  $E$  et noté  $\text{Ext}_E(m_k^*)$ , ainsi que par un sous-ensemble d'individus de  $CE$  noté  $\text{Ext}_{CE}(m_k^*)$  ; on calcule alors le rapport suivant :

$$R = \frac{\text{card}(\text{Ext}_E(m_k^*))}{\text{card}(\text{Ext}_E(m_k^*)) + \text{card}(\text{Ext}_{CE}(m_k^*))}$$

rapport qui est d'autant plus élevé que la proportion d'individus de  $E$  possédant la propriété  $m_k^*$  dans la population totale est grande.

- 4 Si que cette proportion ne dépasse pas un seuil donné  $\alpha$  (choisi par l'utilisateur), on cherche alors une seconde modalité  $m_j^*$  parmi les  $K-1$  restantes de telle sorte que la conjonction  $m_k^* \wedge m_j^*$  maximise le rapport  $R$ . On réitère ainsi la phase 4 tant que  $R < \alpha$ .
- 5 Les étapes 3 et 4 sont effectuées pour chacune des  $K$  modalités  $m_k^*$  et on retient parmi les  $K$  conjonctions obtenues celle, notée  $a^*$ , qui permet d'obtenir le plus grand recouvrement de  $E$  (i.e. celle dont l'extension sur  $E$  est la plus importante).
- 6 On retire de l'ensemble  $E$  les éléments recouvert par la conjonction  $a^*$  et on réitère les étapes 1 à 5 jusqu'à avoir entièrement recouvert l'ensemble des exemples.

*Exemple :* A partir de cinq groupes homogènes de comportements de pêche obtenus par Classification Automatique pour les données de Kayar, l'application de cet algorithme a permis d'extraire comme caractérisation du second groupe les conjonctions suivantes :

$a_1 = [ \text{espèce cible } I = \text{thiof} ] \wedge [ \text{engin} = \text{PML} ] \wedge [ \text{lieu} = \text{Mboro} ]$

$a_2 = [ \text{espèce cible } I = \text{merou} ] \wedge [ \text{lieu} = \text{Niari Raya} ]$

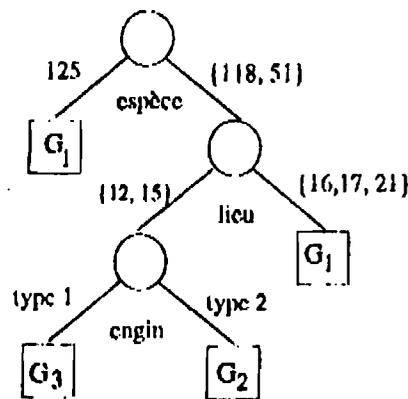
La tactique de pêche sous-jacente au groupe 2 s'exprime ainsi à travers deux conjonctions logiques de propriétés ; elles sont formalisées ici dans le langage des objets symboliques de type booléen développés par B. Diday [Diday 92]

#### 4. Approche par segmentation.

Les méthodes de segmentation constituent une alternative intéressante et une approche différente pour fournir une interprétation explicite des classes d'une partition. Elles se distinguent cependant des méthodes d'apprentissage telles que CABRO car elles permettent dans un même temps "d'organiser la connaissance" (les descriptions de tactique ici) sous la forme d'un arbre binaire.

Le principe général d'une segmentation est le suivant : on procède à des dichotomies itératives de la population de manière à obtenir des sous-populations qui soient le plus homogènes possible vis-à-vis des groupes à caractériser. Les coupures ou dichotomies sont obtenues à partir de questions binaires portant sur les différents descripteurs ; par exemple, la première coupure de l'arbre de la figure ci-dessous assigne aux nœuds gauche et droit les individus ayant respectivement ciblé les espèces {125} et {118 ou 51}. Par ailleurs, à chaque étape, la meilleure coupure est celle qui maximise un critère permettant d'évaluer

numériquement le mélange des groupes au sein des deux nœuds créés (critère d'information,  $\chi^2$ , ...).



Un arbre de segmentation fournit ainsi un ensemble de règles de décision où

- la prémisses (un chemin allant de la racine à une feuille de l'arbre) est associée à une conjonction de propriétés ;
- la conclusion porte sur l'appartenance à l'un des groupes de la partition (en général, le groupe présent majoritairement dans la feuille).

*exemple* : le chemin conduisant à la feuille à l'extrême gauche de l'arbre est associé à la règle de décision suivante:

$$\begin{aligned} \text{si } [ \text{espèce cible} = \{118, 51\} ] \wedge [ \text{lieu} = \{16, 17, 21\} ] \\ \text{alors } [ \text{groupe tactique} = 0.85 (G_1), 0.15 (G_2) ] \end{aligned}$$

Dans ce dernier exemple, nous avons choisi une représentation par objet probabiliste pour exprimer le fait qu'il existe un mélange des groupes  $G_1$  et  $G_2$  dans la feuille à laquelle conduit la règle de décision. On traduit ainsi le fait que des pêcheurs dont l'activité est décrite par  $[ \text{espèce cible} = \{118, 51\} ] \wedge [ \text{lieu} = \{16, 17, 21\} ]$  sont affectés majoritairement à un comportement tactique de type 1.

## Références bibliographiques :

- P. ALEVIKOS, A. MORINEAU (1992). *Tests et Valeurs-Tests. Application à l'étude des mastics utilisés dans la fabrication des vitraux*. RSA, vol. 40, n° 4, pp. 27-43.
- E. DIDAY (1992). Probabilist, possibilist and belief objects for a knowledge analysis. *Cahiers des mathématiques de la décision*. CERIMADIE, Université Paris IX-Dauphine.
- J. FERRARIS, J. LE FUR (1993). *Méthodes d'analyse et de représentation d'un système d'exploitation : synergies et redondances*. Premier Forum Halieumétrique ENSAR / IFREMER / ORSTOM. Rennes, 29 juin - 1 juillet 1993.
- J. FERRARIS, A. SAMBA (1991). *Variabilité de la pêche artisanale sénégalaise et statistique exploratoire*. SEMINFOR 5 statistique impliquée - ORSTOM Montpellier, pp. 169-190.
- M. GUTTLER-SUMMA, B. PÉRINEL, J. FERRARIS (1994). *Automatic aid to symbolic cluster interpretation*. In new approaches in classification and data analysis. Springer Verlag, E. Diday et al. editors.
- HO TU BAO, E. DIDAY, M. GUTTLER-SUMMA (1988). Generating rules for expert system from observations. *Pattern Recognition Letters* 7, pp. 265-271.
- J. LE FUR (1990). *Projet MOFA : Modélisation de la pêche artisanale au Sénégal*. Document Multig. Orstom, 27 p.
- E. PÉRINEL (1991). *Analyse numérique / symbolique des tactiques de pêche artisanale au Sénégal*. Mémoire de DEA de l'Université Paris IX-Dauphine.
- H. TONG (1994). *Interprétation symbolique pour l'analyse factorielle la classification et le graphe de matrice de transition d'états*. Mémoire de DEA de l'Université Paris IX-Dauphine.

Deuxième Forum Halieumétrique à Nantes du 26 au 28 juin 1995

Proposition de communication

## **Détection de larves de poisson anormales par analyse d'images**

Stéphane NAUDIN (1), Hervé PELLA (1), Nicole CHARLON (2), Jeanne GARRIC (1) et Pierre BERGOT (2).

(1) Laboratoire d'Ecotoxicologie, CEMAGREF, 3 quai Chauveau, 69336 Lyon  
Cedex 09

(2) Laboratoire de Nutrition des Poissons, INRA, Route de Quart Ibarron, 64310  
Saint-Pée-sur-Nivelle

L'objectif de l'étude a été de mettre à profit des techniques d'analyse d'images pour discerner les larves anormales de plusieurs espèces de poisson de celles qui présentent une allure normale, et ceci dans un environnement bidimensionnel.

Des expérimentations ont été conduites dans nos deux laboratoires pour évaluer l'efficacité de différents régimes alimentaires et l'effet de plusieurs stress physico-chimiques sur le développement de larves de plusieurs poissons d'eau douce. Un certain nombre de larves malformées sont apparues lors de ces essais avec des caractéristiques morphologiques diverses (flexion vertébrale, gonflement abdominal). De manière à détecter efficacement ces larves quelle que soit leur position d'équilibre, les fonctions morphométriques de deux logiciels d'analyse d'images (Visilog et Optimas) ont été utilisées. La pertinence et la sensibilité de la détection de malformés peuvent être encore améliorées en faisant appel à des algorithmes développés spécialement pour cette problématique.

Dans une optique de recherche, éventuellement d'application à la pisciculture, cette étude doit conduire à l'établissement d'une routine automatisée (incluant ou non des algorithmes spécifiques) permettant de détecter de façon rigoureuse, sensible et rapide la présence de larves malformées de différentes espèces.

Contact: Stéphane NAUDIN - tél: 72 20 87 85 - fax: 78 47 78 75

## LIMITES D'UTILISATION DES ESTIMATEURS PROPORTIONS EN HALIEUTIQUE

Schaan Olivier, Gascuel Didier\*

L'obtention de données en halieutique impose généralement d'avoir recours aux techniques d'échantillonnage et les paramètres à estimer résultent fréquemment de combinaisons de variables intermédiaires. Aussi les précisions finales sont couramment quantifiées par le calcul de variances d'estimation à partir de formules usuelles. En outre, les procédures d'échantillonnage mises en oeuvre font souvent appel à des estimations de proportions. Ainsi, par exemple, un nombre de pêcheurs peut être estimé en utilisant un estimateur proportion du nombre de pêcheurs par engin ou par secteur de pêche. Un autre exemple courant d'application de cet estimateur réside dans l'élaboration de clés taille/âge, qui indiquent la proportion de chacun des groupes d'âge au sein de chaque classe de taille.

Lorsqu'on se réfère aux équations usuellement mises en oeuvre, l'estimation de la variance tend vers zéro quand la proportion  $p$  estimée par échantillonnage tend vers zéro ou un. En outre, les conditions d'approximation normale de la distribution d'échantillonnage d'une proportion ne sont pas clairement définies et diffèrent selon les auteurs : les proportions ne doivent pas être "trop proches de zéro ou un" et la taille de l'échantillon  $n$  doit être supérieur à 30 (Cochran 1977, Scherrer 1983) ou à 100 (Wonnacott et Wonnacott 1991).

Cette note vise à fixer, pour un risque d'erreur donné, des limites claires d'utilisation des formules usuelles de variances, à proposer hors de ces limites des variances corrigées et non nulles.

### RECHERCHE D'UNE MESURE D'INCERTITUDE NON NULLE POUR $P=0$ OU $P=1$

➤ Pour une population statistique finie de taille  $N$ , l'espérance d'une proportion  $p$  observée dans un échantillon de taille  $n$  est égale à la proportion  $P$  issue de la population (Kendall et Stuart, 1958). À l'estimateur  $\hat{p}$  de  $P$  peut être associé une variance usuellement estimée pour un tirage sans remise (loi hypergéométrique) par (Cochran, 1977 ; Grosbras, 1987) :

$$\text{Vâr}_e(\hat{p}) = \frac{(N - n)}{(N - 1)} \times \frac{p(1 - p)}{n - 1}, \quad (1)$$

Ainsi, la formule usuelle conduit à une estimation nulle lorsque  $p=0$  ou  $1$ . De toute évidence, une telle estimation n'est pas valide. Elle impliquerait que l'estimation soit égale la valeur vraie, sans aucune incertitude, dès lors que la proportion observée au sein de l'échantillon zéro ou un.

➤ Le paramètre étudié peut aussi être estimé par intervalle (Scherrer, 1984). Cette démarche permet de fixer, pour un risque donné  $\alpha$ , un intervalle de confiance autour de l'estimation. Pour des petits échantillons, la distribution d'échantillonnage suit une loi binomiale (avec remise) ou hypergéométrique (sans remise). Dans le cas d'une loi binomiale, les bornes supérieures ( $p_s$ ) et inférieures ( $p_i$ ) de l'intervalle d'estimation, à divers seuils de certitude  $\alpha$ , peuvent être obtenues à l'aide du test binomial exact (logiciel S-Plus). Connaissant l'effectif de l'échantillon  $n$  et le nombre  $a$  d'observations présentant la caractéristique étudiée, le logiciel calcule les bornes  $p_i$  et  $p_s$ . La largeur de l'intervalle de confiance correspondant, pour un seuil  $\alpha$  donné, est :

$$I_{\alpha} = p_s - p_i \quad (2)$$

Pour passer d'une variable binomiale à une variable hypergéométrique, il faut corriger l'équation 2 par un coefficient d'exhaustivité (Abboud et Audroing, 1989), soit :

---

\* Unité Halieutique, Département Environnement et Exploitation des Ressources Naturelles  
École Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, 65 Rte de St Brieuc, 35042 Rennes Cedex France

$$It_{\alpha} = p_{sc} - p_{ic} \quad \text{avec} \quad \begin{cases} p_{ic} = p - \left( (p - p_i) \times \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \\ p_{sc} = p + \left( (p_s - p) \times \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right) \end{cases} \quad (3)$$

➤ Cette quantification de l'incertitude par un intervalle de confiance ne peut pas être combinée à d'autres incertitudes pour aboutir à une incertitude finale. Autrement dit, la prise en compte conjointe de plusieurs sources d'incertitudes (*i.e.* combinaison de plusieurs variables) impose *a priori* de revenir à une expression analytique des variances d'estimation. C'est pourquoi, une variance conventionnelle,  $Var_c$ , déduite de la largeur d'intervalle est construite comme suit :

$$It_{\alpha} = 2 \cdot t_{\alpha/2} \cdot \sqrt{Var_{c(\alpha)}(\hat{p})} \quad , \text{ où } t \text{ est le } t \text{ de Student soit : } Var_{c(\alpha)}(\hat{p}) = \left( \frac{p_{sc} - p_{ic}}{2 \cdot t_{\alpha/2}} \right)^2 \quad (4)$$

Cette équation permet notamment d'obtenir une mesure non nulle de l'incertitude associée à l'estimation d'une proportion nulle ou égale à un.

#### LIMITES DE VALIDATION DE L'ESTIMATEUR VARIANCE USUEL

$$\text{Posons le rapport } R_{\alpha} \text{ des variances estimée et conventionnelle : } R_{\alpha} = \frac{\sqrt{Var_e(\hat{p})}}{\sqrt{Var_{c(\alpha)}(\hat{p})}} \quad (5)$$

Déterminer si le rapport  $R_{\alpha}$  diffère ou non de 1, revient à étudier si l'estimateur usuel fournit une mesure acceptable de l'incertitude. Aussi, les coefficients  $R_{\alpha}$  sont calculés pour diverses tailles d'échantillon  $n$  et proportions  $p$ . On en déduit par des méthodes graphiques des isoplètes du rapport  $R_{\alpha}$  dans le plan  $n \times p$  (figure 1). Celles-ci permettent de déterminer pour chaque valeur de  $n$ , quels sont les valeurs de  $p$  qui conduisent à accepter les variances  $Var_e$  comme mesure de l'incertitude sur l'estimation. Cette démarche peut être conduite en acceptant des écarts entre variance estimée et conventionnelle plus ou moins importants. La figure 1 présente les résultats obtenus pour un risque  $\alpha = 0,05$  avec  $0,95 \leq R_{\alpha} \leq 1,05$  et pour  $\alpha = 0,20$  avec  $0,8 \leq R_{\alpha} \leq 1,25$ .

Un autre problème mérite attention. Pour une proportion  $p$  s'éloignant de  $1/2$ , l'asymétrie de l'intervalle de confiance s'accroît. Bien que n'affectant pas le poids de l'incertitude globale, elle rentre en ligne de compte dans l'estimation des bornes de l'intervalle. Aussi, un indice de symétrie  $S$

$$\text{correspondant au rapport des deux demi-intervalles est défini par : } S_{\alpha} = \frac{p_{sc} - p}{p - p_{ic}} \quad (6)$$

Comme pour le rapport  $R_{\alpha}$ ,  $S_{\alpha}$  est calculé pour différentes valeurs de  $n$  et  $p$ . On en déduit par des abaques dans quel domaine ( $n, p$ ), l'intervalle de confiance autour de la valeur estimée n'est pas "trop" dissymétrique (figure 1).

Le respect des conditions :  $R$  et  $S$  proche de 1, impose des restrictions conséquentes sur  $n$  et  $p$  (Schaan, 1993). Même si les contraintes diminuent avec un risque d'erreur croissant, des proportions proches de 0 ou 1 conduisent toujours à des sous-estimations de l'incertitude qui restent importantes.

En dehors des limites définies, les formules usuelles de variance ne fournissent pas une mesure correcte de l'incertitude. Toutefois, les rapports  $R_{\alpha}$  peuvent être assimilés à des facteurs de correction (tableau 1) et donc permettre de calculer une variance corrigée :

$$\widehat{\text{Var}}_{\text{cor } \alpha}(\hat{P}) = \frac{\text{Var}_e(\hat{P})}{R_\alpha^2}, \quad \text{, où "cor" signifie corrigée} \quad (7)$$

Bien que ne résolvant pas le problème de l'asymétrie, cette variance corrigée fournit une mesure plus acceptable que celle obtenue d'après les formules usuelles.

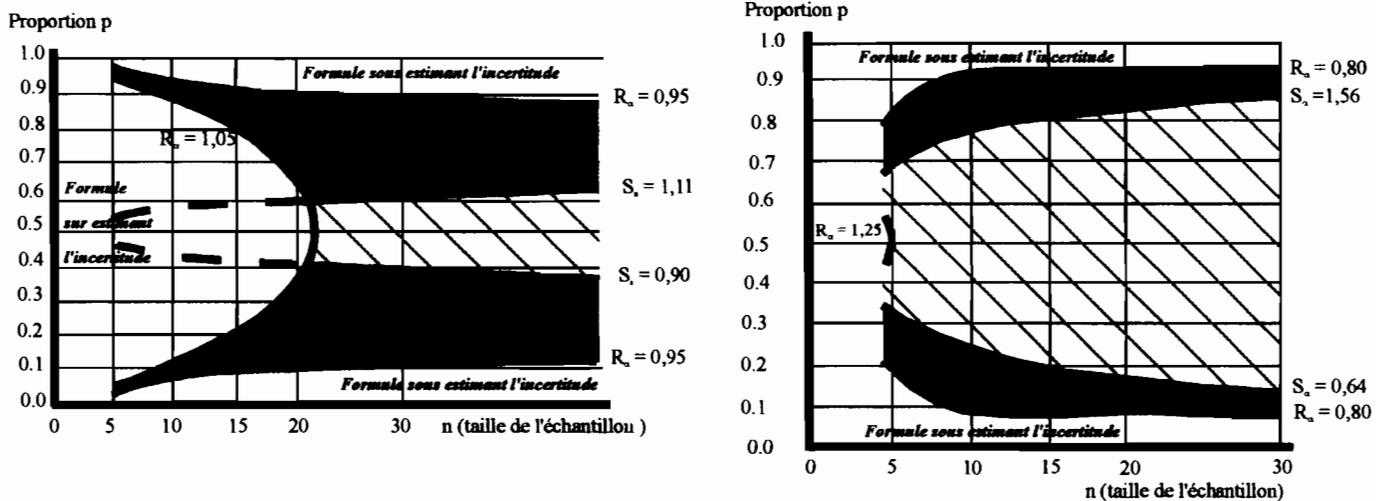


Figure 1 : Limites de validité pour un risque d'erreur de 5 et 20%. Les zones en grisée et en hachurée indiquent l'aire de validité des formules usuelles de variance comme mesure de l'incertitude et la zone hachurée l'aire où en plus les conditions de symétrie sont respectées.

## CONCLUSION

Le prélèvement d'échantillons de grande taille demeure bien évidemment souhaitable pour aboutir à des précisions d'estimations élevées et fiables. Les méthodes proposées ici doivent être considérées comme outils palliatifs, lorsque les contraintes sont telles que seuls des échantillons de petites tailles sont pratiquement réalisables ou quand les proportions observées tendent vers zéro ou un.

Une autre possibilité consisterait à travailler non plus sur les variances d'estimation mais sur les intervalles de confiance. Ceci nécessiterait cependant de construire les lois successives des variables et d'aboutir à la fonction de densité finale. Une telle démarche ne pourrait être envisagée que sous hypothèses d'indépendance des variables et de symétrie des distributions.

## RÉFÉRENCES

- ABBOUD N., AUDROING J.F., 1989. *Probabilités et Inférences Statistiques*. Nathan éditeur, Collection Supérieur/Économie, 351 p.
- COCHRAN W.J., 1977. *Sampling technics*. Third edition, Wiley & Son, New York, 413 p.
- GROSBRAS J.M., 1987. *Méthodes statistiques des sondages*. Economica, Paris, 331p.
- KENDALL M.G., STUART A., 1958. *The Advanced Theory of Statistics*. Griffin and Co. LTD, London, 3 vol., 690 p.
- SCHAAN O., 1993. *L'exploitation des anguilles sub-adultes (Anguilla anguilla, L.) dans les estuaires de la Loire et de la Vilaine : Méthodes d'estimation des captures par âge*. Thèse de Doctorat, ENSAR, Rennes, 156 p.
- SCHERRER B., 1983. *Techniques de sondage en écologie*. In : *Stratégies d'échantillonnage en écologie*. Frontier S.(éd.), Masson, Paris, 63-162.
- SCHERRER B., 1984. *Biostatistique*. Gaëtan Morin, Chicoutimi, Québec, 850 p.
- WONNACOTT T.H., WONNACOTT R.J., 1991. *Statistique : Économie, Gestion, Sciences, Médecine*. Economica, 4ème édition, Paris, 919 p.

Tableau 1 : Facteurs de correction (ratios  $R\alpha$  des incertitudes) pour des seuils de confiance de 95 et 80 %. Pour les valeurs de  $a > n/2$ ,  $R$  correspond au complément à  $n$  de la valeur recherchée, donc pour  $n-a$ . (Pour  $n = 22$  et  $a = 18$ , lire  $R$  pour  $a = 4$ ). (Pour  $a = 0$ ,  $R = 0$ )

$\alpha = 95\%$	$a = np$	Taille $n$ de l'échantillon									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1		12.36	3.19	1.99	1.56	1.35	1.22	1.13	1.07	1.02	
2		0.00	3.19	2.13	1.70	1.48	1.34	1.25	1.19	1.14	
3			0.00	1.99	1.70	1.51	1.38	1.29	1.23	1.18	
4				0.00	1.56	1.48	1.38	1.30	1.25	1.20	
5					0.00	1.35	1.34	1.29	1.25	1.21	
<b>n*</b>											
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		0.99	0.96	0.94	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.85	0.85
2		1.10	1.07	1.04	1.02	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.95
3		1.14	1.11	1.09	1.07	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99
4		1.16	1.13	1.11	1.09	1.07	1.06	1.04	1.03	1.02	1.01
5		1.17	1.15	1.12	1.10	1.09	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03
6			1.15	1.13	1.11	1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04
7					1.11	1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.05
8							1.09	1.08	1.07	1.06	1.05
9									1.07	1.06	1.05
10										1.06	1.05
<b>n*</b>											
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1		0.84	0.83	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81	0.80	0.80	0.80
2		0.94	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.89
3		0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.93
4		1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.97	0.96	0.96
5		1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97
6		1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98
7		1.04	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99
8		1.04	1.04	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00
9		1.05	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00
10		1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01
11			1.04	1.04	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01
12					1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01
13							1.03	1.02	1.02	1.02	1.01
14								1.02	1.02	1.02	1.01
15									1.02	1.02	1.01

$\alpha = 80\%$	$a = np$	Taille $n$ de l'échantillon					
		2	5	10	15	20	30
	1	3.43	0.81	0.85	0.78	0.76	0.73
	2	0.00	1.20	0.93	0.87	0.84	0.80
	3		1.20	0.97	0.91	0.88	0.85
	4		0.81	0.99	0.93	0.90	0.87
	5		0.00	0.99	0.94	0.92	0.89
	6			0.99	0.95	0.93	0.90
	7			0.97	0.95	0.93	0.91
	8			0.93		0.94	0.92
	9			0.85		0.94	0.92
	10			0.00		0.95	0.93
	11						0.93
	12						0.93
	13						0.94
	14						0.94
	15						0.94

# **SESSION III**

## **MODELISATION ET REPRESENTATION DES CONNAISSANCES**

**Session "MODELISATION ET REPRESENTATION DES  
CONNAISSANCES"**

**EXPOSE INTRODUCTIF**

*par François VALETTE*

*Ingénieur de Recherche au CNRS*

**TITRE : VOIES RAPIDES, GRANDS ET PETITS CHEMINS, SENTIERS DE TRAVERSE...(1)  
DIVERSITE DES ITINERAIRES DE LA RECHERCHE EN HALIEUTIQUE, ENTRE "LE REEL"  
QU'ELLE ETUDIE ET "LES MODELES" QU'ELLE GENERE.**

**RESUME :**

Essai de classification des approches et modèles présentés au colloque, qui permet de mettre en parallèle les approches proposées et les démarches "dominantes" dans différents champs scientifiques (sciences physiques, sciences de l'univers, sciences de la vie et sciences sociales). Repérage, dans cette lecture, des spécificités de l'halieutique. Critères de choix de modèles. Conclusions classiquement oecuméniques mais critiques : sur le champ couvert et le champ qu'il reste à couvrir, sur l'information implicite et l'information manquante en toute démarche de modélisation.

(1) - J'aurais pu ajouter : bonhomme de chemin, chemin de croix, chemin des écoliers, sentier lumineux, sentier perdu, sentiers battus, voies royales, voies d'avenir et voies sans issue.....

**Une simulation du mouvement des albacores dans le Pacifique tropical est  
basée sur un modèle à trois paramètres**

**M. Goujon<sup>1</sup>, R. B. Deriso<sup>2</sup> and R. G. Punsly<sup>2</sup>**

- 1. Laboratoire Halieutique de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes,  
65 rte de S<sup>t</sup> Briec, 35042 Rennes Cédex, France**
- 2. Inter-American Tropical Tuna Commission, c/o Scripps Institution of Oceanography  
8604 La Jolla Shores Dr., La Jolla, CA 92037, U.S.A.**

Une simulation du mouvement des albacores a été développée à l'Inter-American Tropical Tuna Commission (IATTC) pour être inclus dans une simulation globale de la pêcherie thonière du Pacifique tropical est.

Les données de base proviennent d'une part de l'IATTC, pour ce qui concerne les captures et fréquences des longueurs d'albacores pêchés à la senne, et d'autre part du National Institute of Far Seas Fisheries of Japan, pour les captures et fréquences des longueurs d'albacores pêchés à la palangre. L'analyse des cohortes permet d'obtenir le recrutement des albacores et la mortalité par pêche mensuelle pour chaque groupe d'âge. La ventilation des captures ramenées au temps de recherche des bancs fournit des taux de capture mensuels pour chaque groupe d'âge d'albacore, et pour chacun des 327 'carrés' de 2,5°x2,5° (cellules), correspondant à la plus grande extension de la pêcherie sur la période 1980-1988 (figure 3). On dispose ainsi d'estimations mensuelles (au 1er du mois) annuelles et moyennes de l'abondance par groupe d'âge des albacores pour chaque cellule sur la période 1980-1986 (la moyenne étant calculée sans utiliser les données des années du El Niño de 1982-1983). Ces abondances sont par la suite appelées "estimées".

La simulation du mouvement des albacores utilise le modèle dynamique décrit par Deriso, Punsly et Bayliff (1991), illustré par la figure 1. Le modèle est construit sur trois paramètres : l'angle  $\alpha$  et la vitesse  $V$  du mouvement et la diffusion des thons  $D$ . Les poissons de chaque cellule sont redistribués à chaque période dans la région définie par la cellule elle même et ses 8 voisines adjacentes. L'unité de temps (période) a été fixée à un cinquième de mois de façon à ce que les thons ne se déplacent pas de plus d'une cellule par unité de temps.

<figure 1>

Un algorithme a été écrit pour estimer au mieux les trois paramètres de mouvement pour chaque groupe d'âge d'albacore dans chaque cellule et à chaque période (figure 2).

<figure 2>

Dans une première étape, sont calculées les abondances attendues au dernier jour du mois  $M$  résultant de la réduction due à la mortalité naturelle et à la pêche (pas de mouvement). On calcule ensuite pour chaque cellule la différence  $\Delta$  entre l'abondance ainsi obtenue et celle estimée au 1<sup>er</sup> du mois  $M+1$ . On définit alors pour chaque cellule, dans son voisinage (ensemble des cellules situées à moins de 5 côtés d'une cellule), une cellule cible (à une distance  $d$ ) qui est celle ayant le plus grand rapport  $\Delta/d$ . Pour les cellules dont le résidu  $\Delta$  est positif, ou proche de 0, ou qui sont leur propre cible, la vitesse est nulle et la diffusion égale à 1. Pour les autres, l'angle  $\alpha$  du mouvement est défini comme celui entre la cellule source et la cellule cible. On calcule ensuite un facteur  $\varphi$  (compris entre 0 et 100) déterminant si la diffusion prévaut sur l'advection, et obtenu en comparant le gradient dans la direction (quart de cercle) de la cellule cible et celui dans l'ensemble des trois autres directions (trois-quart de cercle restant). Les valeurs de  $V$  et  $D$  sont alors calculées en fonction des abondances attendues, des distances, des  $\Delta$  des cellules voisines et du facteur  $\varphi$ . Quand l'advection est largement prédominante sur la diffusion ( $\varphi \geq 90$ ),  $D$  est fixé égal à 1 et  $V$  est obtenu par résolution de l'équation 1 déterminant la proportion  $p_0$  de poissons restant dans la cellule source.

$$p_0 = (1 - V \cdot |\cos(\alpha)|) \cdot (1 - V \cdot |\sin(\alpha)|) \quad (1)$$

Si la diffusion est largement prédominante sur l'advection ( $\varphi \leq 10$ ),  $V$  est fixé égal à 0 et  $D$  est égal à l'abondance attendue divisée par l'abondance estimée. Enfin, lorsque la valeur de  $\varphi$  ne permet pas de négliger l'advection ou la diffusion, on utilise une série d'équations paramétrées qui permettent de calculer  $D$  et  $V$  :  $D$  est estimé en fonction du gradient  $\Delta$  de la cellule source ou d'une diffusion moyenne sur la région à laquelle appartient la cellule si l'effort de pêche dans la cellule source est inférieur à 5 jours; et la vitesse, quant à elle, est estimée en fonction de la distance entre cellule source et cellule cible divisée par le nombre de périodes restant avant la fin du mois. Ceci est réalisé pour les 327 cellules de la pêcherie.

Pour les périodes suivantes, le même processus est appliqué en partant des abondances obtenues à la fin de la période précédente pour calculer les abondances attendues.

Enfin, un processus itératif sur les valeurs des coefficients des équations utilisées lorsqu'il est impossible de négliger l'advection ou la diffusion, permet de réduire au minimum la somme des carrés des écarts entre les abondances de la fin du mois ainsi prédites et celles estimées au 1<sup>er</sup> du mois suivant. Ceci est réalisé pour chaque groupe d'âge d'Albacore et chaque mois de l'année à partir de l'abondance prédite par le mois précédent (Si  $M_1$  est le premier mois estimé à partir d'abondances estimées,  $M_2$  est estimé à partir de  $M_1$ ,  $M_3$  à partir de  $M_2$ , etc... Enfin,  $M_1$  est ré-estimé à partir de  $M_{12}$ ).

On conserve, à la fin de ce processus une matrice contenant les 3 paramètres mensuels pour chaque cellule et pour chaque groupe d'âge d'albacore. On obtient ainsi également des distributions mensuelles de la population que l'on peut cartographier et comparer avec les abondances estimées (figure 3).

<figure 3>

En terme d'erreur, le résidu moyen entre abondances estimées et prédites par cellule est principalement compris entre .5 et 1.5 fois l'abondance moyenne par cellule, pour les groupes d'âge ayant la plus forte mortalité par pêche. Comme l'illustre la figure 3, la distribution des abondances prédites est sensiblement identique à celle des abondances estimées.

En fait, les premiers résultats de la simulation nous ont amené à ré-estimer les abondances "estimées" utilisé pour la simulation, car il apparaissait impossible de simuler le mouvement des thons vers la zone située à l'ouest du méridien 120°, fréquentée uniquement pendant l'été boréal à cause des tempêtes inter-tropicales d'octobre à avril. Du fait de taux de captures nulles dans cette région pendant l'hiver boréal, les thons devaient 'remplir' cette zone aussi rapidement que le faisaient les navires avec l'arrivée du beau temps. Nous avons alors fait l'hypothèse que c'était le modèle qui avait raison et que les thons présents dans ces eaux à la fin de la saison de pêche, y restaient jusqu'au début de la saison suivante.

Seule une analyse de sensibilité sur l'effet de plusieurs coefficients qui ont été utilisés dans le calcul des paramètres du mouvement des Albacores, a pu être menée. Elle montre que l'on obtient plusieurs minima de la somme des carrés des différences entre abondances estimées et simulées, en utilisant différentes valeurs de ces coefficients. D'une part, le modèle comporte deux composantes, advection et diffusion, dont plusieurs combinaisons permettent d'obtenir le même résultat. D'autre part, ces minima résultent de l'hétérogénéité des mouvements dans la pêcherie ; par exemple, on observe au même moment un mouvement apparent rapide des albacores vers la région située à l'ouest du méridien 120° et des pulsations lentes de la pêcherie le long des côtes. Si l'expression mathématique du déplacement apparaît assez simple, la résolution du problème sur un ensemble de cellules interagissant entre elles, limitées par un contour non régulier et présentant une régionalisation des mouvements généraux, demeure très compliquée.

De nombreuses améliorations de la simulation sont envisageables. En particulier parce qu'on observe un décalage des courbes d'abondances globales par grandes régions (régions correspondant aux grandes zones de pêche saisonnières); les "albacores simulés" n'arrivent (ou ne repartent) pas assez vite au début (ou à la fin) des périodes de fortes captures. Les coefficients permettant de calculer les paramètres du mouvement pourraient être calculés pour chacune de ces grandes régions de la pêcherie. L'utilisation de données sur l'environnement pourrait permettre de corriger l'estimation des abondances dans les zones-périodes où le mauvais temps empêche les coups de senne. Il serait également très intéressant de mener une étude de sensibilité plus approfondie, en particulier, sur le choix de l'unité de temps, et de tester d'autres fonctions-tests pour le calcul des paramètres du mouvement avec éventuellement un ou deux autres coefficients. Les albacores du Pacifique ne présentant pas de migrations très nettes, il serait sans doute très intéressant d'essayer d'appliquer ce modèle aux albacores de l'Atlantique, pour lesquels des schémas de migration ont pu être décrits.

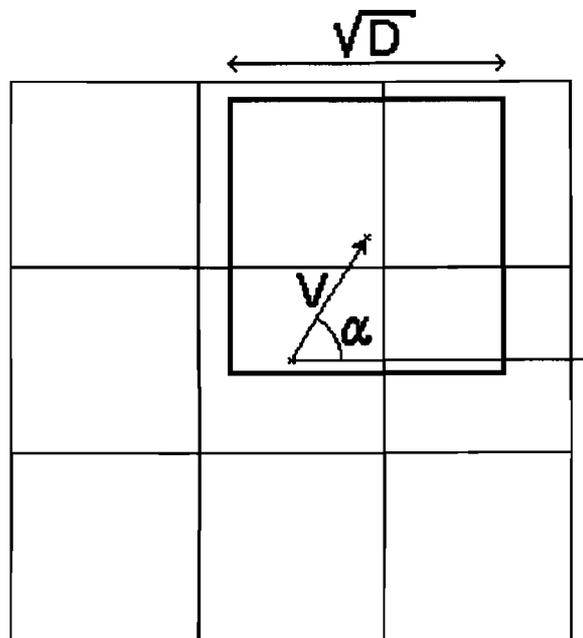


Figure 1. Représentation cellulaire du modèle du mouvement des albacores utilisé dans la simulation.  $\alpha$  et  $V$  représentent l'angle et la vitesse du mouvement d'advection et  $D$  mesure la diffusion du mouvement.

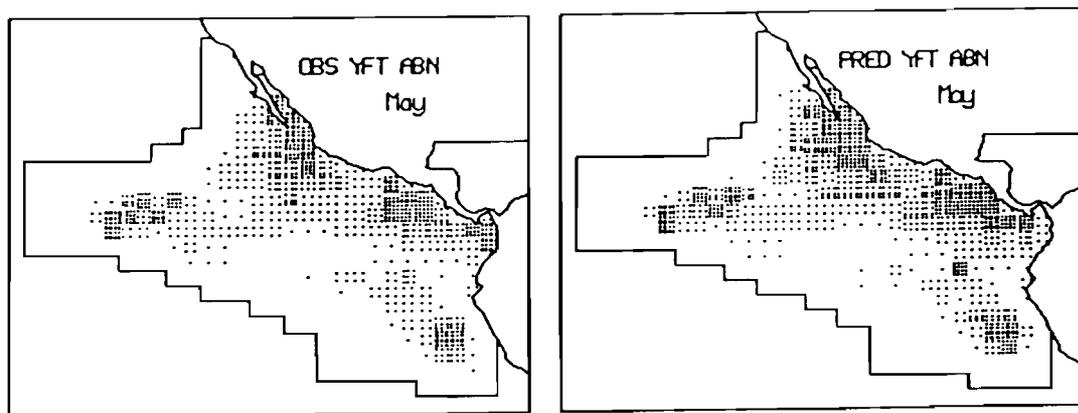


Figure 3. Comparaison mensuelle (en exemple, le mois de mai) des abondances estimées (OBS YFT ABN) et prédites (PRED YFT ABN), d'Albacores dans le Pacifique Est.

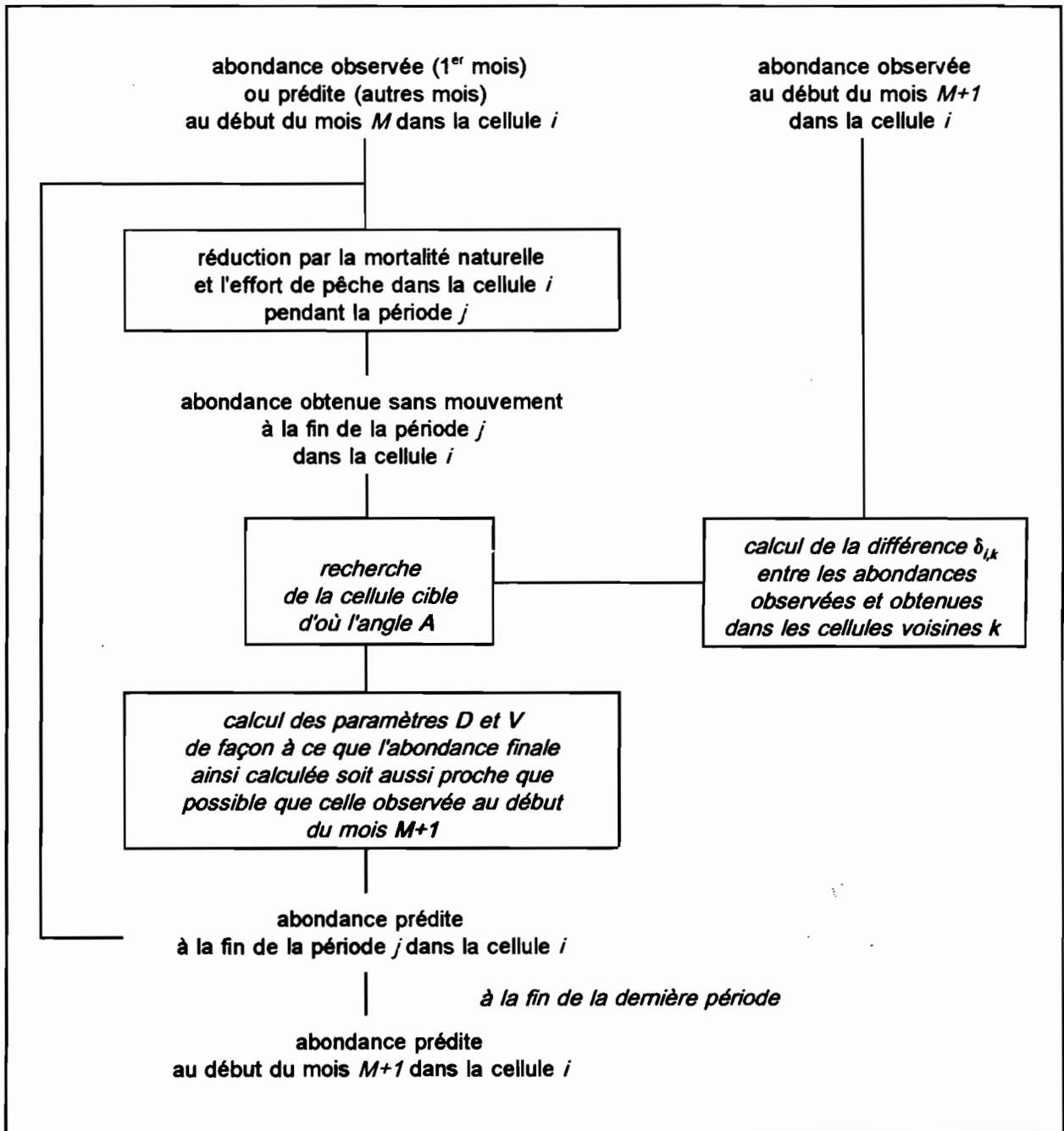


Figure 2. Algorithme utilisé pour l'estimation des paramètres du mouvement des albacores.

**MIGRATHON : UN SYSTEME EXPERT SIMPLE POUR L'ESTIMATION  
DES FLUX DE MIGRATION ENTRE ZONES. APPLICATION AU LISTAO  
(*KATSUWONUS PELAMIS*) DANS L'OCEAN ATLANTIQUE TROPICAL  
EST.**

**Eric Foucher<sup>(1)</sup>**

**INTRODUCTION.**

Afin d'estimer les flux de migrations entre zones, on présente une nouvelle méthode faisant appel aux concepts de l'intelligence artificielle : il s'agit d'un système expert simple, capable de générer des flux de poissons entre différentes zones de pêche à partir des estimations locales des effectifs. L'objectif recherché ici est ainsi de montrer qu'une méthode distincte des méthodes classiquement employées en dynamique des populations permet d'offrir une alternative dans l'étude des migrations. Le système expert proposé est appliqué au cas du listao de l'Atlantique Tropical Est. Des flux de migration entre zones sont quantifiés. Ces flux sont ensuite analysés, et comparés avec les schémas globaux connus des migrations du listao.

**MATERIELS ET METHODES.**

MIGRATHON est un système expert simple, qui fait intervenir des migrations de poissons entre 5 zones côtières adjacentes. Le modèle est appliqué au cas du listao de l'Atlantique Tropical Oriental.

---

<sup>(1)</sup> CRODT, BP 2241, Dakar, Sénégal

### Estimation des effectifs par zone.

Les flux de migration par zone sont obtenus en comparant les valeurs numériques de deux estimations différentes des effectifs par âge et par zone, la première prenant en compte le phénomène des migrations, la seconde non. La première estimation est obtenue à partir de l'effectif total (toutes zones confondues) issu pour chaque âge de l'analyse des cohortes, et réparti par zones, selon la relation :  $N_{a,z} = \frac{C_{a,z}}{C_a} \cdot N_a$ .

La seconde estimation est calculée par le modèle, au fur et à mesure de la progression chronologique des périodes de temps, en appliquant la relation :

$$N'_{a,z} = (N'_{a-1,z} \cdot \exp(-M_{a-1})) - C_{a-1,z}$$

### Les différentes étapes de la mise au point de MIGRATHON.

MIGRATHON a été développé à partir du logiciel SNARK. Dans sa version actuelle, il contient 19 règles d'expertise et plus de 1000 faits initiaux. Il a été élaboré en trois étapes successives. Dans un premier temps, seuls ont été envisagés des flux de poissons entre deux zones limitrophes et deux périodes successives (fig. 1). Le modèle cherche alors à combler les écarts des estimations  $N$  et  $N'$  observés dans une zone donnée  $Z1$  à la période  $T$ . Sous cette condition, le système débouche rapidement sur une impasse et s'arrête.

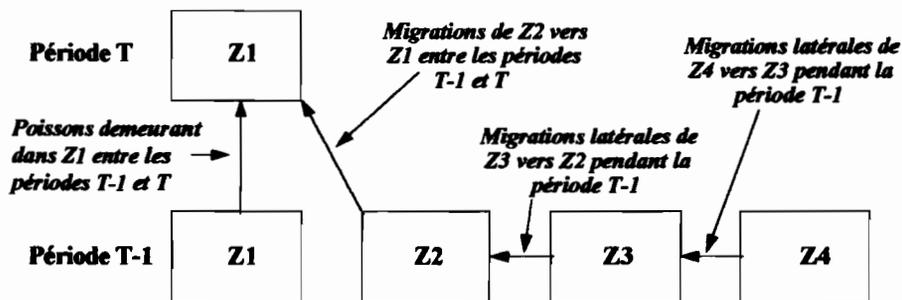


Figure 1. - Les étapes de la mise au point de MIGRATHON.

Dans un deuxième temps, la possibilité d'effectuer des migrations entre deux zones limitrophes au cours d'une même période de temps a été rajoutée au sein du système. Dans ce cas également, le système peut aboutir à un blocage. Dans un troisième temps enfin, on envisage des migrations latérales qui peuvent avoir lieu au cours de la période T-1, mais entre les zones plus éloignées Z3 et Z4. Une solution peut alors être trouvée pour chaque zone, à chaque période de temps.

## **RESULTATS DES SIMULATIONS.**

MIGRATHON permet d'estimer, à chaque âge, les migrations entre zones du listao. Ces migrations suivent un schéma cyclique, au cours de l'année, dans l'Atlantique Tropical Est. Il existe de fortes concentrations d'individus dans les zones centrales du Libéria et du Ghana au cours du premier trimestre, qui donnent naissance à des flux de poissons très intenses qui se développent à la fin du premier et au cours du second trimestre, l'un vers le Sénégal, l'autre vers le Cap Lopez. Deux grands groupes de listaos se constituent alors : celui du Sénégal composé essentiellement de pré-adultes et d'adultes de 3 ans, et celui du Cap Lopez en majorité de juvéniles. Puis ces deux migrations s'inversent, les poissons convergeant vers les zones centrales, en particulier vers la zone Libéria.

## **DISCUSSION.**

### **Des résultats globalement valides.**

Les valeurs estimées par MIGRATHON permettent d'avoir une vision globale de la répartition géographique des effectifs à chaque âge et des phénomènes de migrations qui interviennent. De plus, la similitude des estimations obtenues par MIGRATHON avec les schémas généraux des migrations du listao dans l'Atlantique permet de valider cette approche.

### **Des problèmes d'expertise.**

Les résultats issus de MIGRATHON sont très largement dépendants des hypothèses retenues. Les principales limitations d'un tel modèle correspondent ainsi d'abord à des problèmes d'expertise initiale du système. C'est le cas du choix du recrutement : quelle est son intensité réelle, est-il ponctuel ou continu dans le temps, où et quand a-t-il lieu? De quelle manière la base de faits pourrait-elle alors être initialisée? Par ailleurs, MIGRATHON fait intervenir une cohorte moyenne de listaos. Il ne peut donc pas expliquer des variations importantes des captures (par l'intensité des migrations) dans une zone et pour une année donnée. L'idée d'initialiser MIGRATHON avec des cohortes réelles, et sur plusieurs années, apparaît ainsi naturellement. Ici encore, il s'agit d'un problème d'expertise.

### **CONCLUSION : UNE EBAUCHE TROP SIMPLISTE?**

Le modèle MIGRATHON n'est qu'une ébauche de ce qui pourrait devenir un vrai système expert modélisant la dynamique de la ressource et l'exploitation des thons tropicaux. Il est naturellement envisageable d'étendre les simulations à des cohortes réelles, aussi bien de listaos que d'albacores. L'essentiel de la réflexion nécessaire réside en fait dans l'expertise initiale du système. Les règles employées étant indépendantes les unes des autres, il ne serait pas non plus utopique de développer l'expertise dans d'autres directions pour mieux comprendre la dynamique du système, notamment en intégrant des données concernant le comportement des flottilles et des pêcheurs, ou des données environnementales.

Par ailleurs, MIGRATHON devrait à terme évoluer vers une plus grande interactivité, en établissant un dialogue entre le système expert et l'utilisateur. A chaque étape chronologique, le système expert pourrait ainsi poser toutes les questions *ad hoc* à l'utilisateur : prises réelles par âge et par zone, mortalités naturelles, données économiques et environnementales...

# **Modélisation du cycle de vie de la sole du Golfe de Gascogne**

**Ovide Arino<sup>1</sup> et Constantin Koutsikopoulos<sup>2</sup>**

1. Laboratoire des Mathématiques Appliqués, Université de Pau

2. Laboratoire d'Ecologie Halieutique, IFREMER- Centre de Nantes

## **Resumé**

Durant la première phase (1985-1990) du projet "sole" dans le cadre du PNDR un effort important a été développé pour l'observation des phénomènes *in situ* et pour la mise au point d'outils dans un cadre expérimental et leur utilisation dans le milieu naturel. Les travaux effectués ont mis en évidence des particularités dans le cycle de vie de l'espèce dans le Golfe de Gascogne. La nature des processus en jeu et la complexité du cycle de la vie de l'espèce dans ce secteur ne permettent pas d'effectuer aisément l'évaluation de l'importance relative des phénomènes dans les différentes phases du développement. Pour comprendre les mécanismes qui déterminent la force de la classe d'âge, la construction d'un modèle qui considère l'ensemble du cycle de la vie de la population est nécessaire. Avec un tel outil nous aidera à étudier le rôle de l'organisation de la population (existence de structures identifiables), à analyser les processus, à détecter des stades critiques et évaluer leur importance relative et finalement à avoir une idée sur la variabilité "potentielle" de la population. Tel est l'objectif du présent projet : construire et analyser un modèle intégrant les différents processus caractérisant le cycle de vie de la sole, *Solea solea* (L.), du Golfe de Gascogne. Dans les pages suivantes nous allons décrire rapidement les connaissances fondamentales qui permettent de définir les grandes étapes du cycle de vie, les processus en jeu, le choix des échelles d'espace et de temps, la base du modèle, les points qui intéressent l'océanographe biologiste, l'halieute et le mathématicien et les futures étapes de ce travail. A ce point un élément semble important : la proposition de ce modèle de base montre que le dialogue a déjà été instauré entre les disciplines et que des intérêts communs existent.

# **Approche déterministe et stochastique de la dynamique des populations parasitaires : application au modèle "Poisson-Monogène"**

**Patrick SILAN \*, Michel LANGLAIS \*\*, Catherine BOULOUX \*\***

*\* URA CNRS 698, Équipe "Dynamique des Populations Parasitaires et Epidémiologie Marine",  
Université Montpellier II, Station Méditerranéenne de l'Environnement Littoral, 1 Quai de la Daurade,  
34200 SETE. Courrier électronique : silan@univ-montp2.fr*

*\*\* Mathématiques appliquées, Université Bordeaux II, B.P. 69, 146 rue Léo Saignat 33076  
Bordeaux cedex. Courrier électronique : michel.langlais@u-bordeaux2.fr*

Les systèmes Hôtes-Parasites offrent une diversité et une complexité telles que peu d'études quantitatives sur la dynamique couplée de ces populations ont été réalisées.

Les lacunes sont particulièrement importantes dans le cas des métazoaires parasites et des écosystèmes aquatiques, alors que la quasi-totalité des organismes libres vivant dans ces milieux n'échappe pas au parasitisme.

Les perturbations des écosystèmes marins ou le confinement lié à l'élevage conduisent à des problèmes généraux de santé, qu'elle soit humaine ou vétérinaire. Le dysfonctionnement des systèmes "Hôtes-Parasites" qui en découle peut entraîner la prolifération d'agents pathogènes.

Les facteurs agissant sur la dynamique de ces populations sont complexes et relèvent de processus intensité-dépendant (compétitions intra et/ou interspécifique, pathogénie, réponse immunitaire de l'hôte) et/ou intensité-indépendant (agents abiotiques, éthologie des hôtes).

La plupart des approches biomathématiques relatives aux systèmes Hôtes-Parasites ont concerné les processus infectieux. Les modèles épidémiques correspondant posent des problèmes tout à fait particuliers de diffusion; ils sont dans tous les cas inadaptés aux macroparasites. Ces derniers présentent notamment les spécificités suivantes: leur installation et leur maintien chez l'hôte, les réponses de défense (immunitaires ou autres) de celui-ci, la fécondité et la mortalité des deux partenaires dépendent essentiellement du nombre de parasites par hôte et non pas seulement de leur seule présence. Or ces parasites sont sujets à des processus de surdispersion et à des changements de distribution permanents dans les populations d'hôtes, souvent à l'origine de la régulation de ces dernières. L'un des problèmes central est par conséquent la prise en compte de ces mécanismes et leur intégration dans les modèles dynamiques.

Les recherches en cours visent le développement et la validation d'un modèle mixte, déterministe et stochastique, permettant de décrire la dynamique d'un système "Hôte-Macroparasite" avec cycle direct en environnement marin. Le modèle biologique étudié est le modèle "Poisson-Monogène". Ces Plathelminthes ectoparasites vivent fixés sur les branchies des poissons, pondent des oeufs desquels sort une larve; cette larve représente

le stade de dissémination et de colonisation des hôtes.

Actuellement, le développement du modèle porte sur des populations élevées dans lesquelles ces parasites posent de sérieux problèmes. Sa validation concerne donc les problèmes de pathologie en aquiculture.

L'approche théorique du couplage cherche à mettre l'accent :

- 1) sur la hiérarchisation des mécanismes impliqués dans ces structures complexes et non linéaires;
- 2) sur la sensibilité du modèle aux conditions initiales et la stabilité du système.

**Deuxième forum halieumétrique  
Nantes 26-28 juin 1995**

## **PRESENTATION D'UN SIMULATEUR INDIVIDUS- CENTRE DE MIGRATION ESTUARIENNE DE CIVELLES**

**P. Lambert, E. Rochard, P. Elie**  
Cemagref de Bordeaux  
division Aquaculture et pêche  
BP 3  
33611 Gazinet cedex

### **Contexte scientifique**

La compréhension de la migration estuarienne des civelles d'anguille (*Anguilla anguilla*) constitue actuellement un enjeu écologique, économique et scientifique important compte tenu de l'apparente diminution du stock continental estimée par les données issues de la pêche commerciale (ANONYME, 1984; GASCUEL, 1987; MORIARTY, 1987; BRUSLE, 1990, CASTELNAUD et al., 1995).

Du fait de la complexité du phénomène à observer (il s'agit d'une migration mer-fleuve couplée à une métamorphose) et de l'impossibilité de reproduire en laboratoire des conditions naturelles, l'approche par modèle semble être une voie d'investigation intéressante et complémentaire des travaux menés sur le terrain (JOLIVET et PAVE, 1993).

La modélisation individus-centrée correspond à une approche mécaniste du fonctionnement d'un système (LEPAGE, 1993) et est à même de répondre à la volonté de compréhension des phénomènes complexes. Ce type de modélisation cherche avant tout à intégrer les mécanismes sous-jacents gouvernant le système afin de parvenir à le décrire dans sa globalité (SCHOENER, 1986). Elle complète donc l'approche phénoménologique classique, la plus souvent adoptée dans les différentes modélisations de la migration recensées par LAMBERT (1995) et dont le principe est de modéliser les données directement observables d'un système.

Par ailleurs, un simulateur basé sur une approche individus-centrée est intéressant car il permet, en les organisant, de synthétiser et de confronter les connaissances acquises sur un sujet, que ce soit sur le terrain ou en laboratoire, éventuellement de réaliser quelques prévisions en fonction de scénarios mais surtout de progresser dans la compréhension du phénomène en testant des hypothèses (JOLIVET et PAVE, 1993).

La réalisation de modèles individus-centrés concernant la civelle d'anguille s'appuie sur une importante base de connaissances dont les éléments ayant trait à la migration anadrome en zone estuarienne ont récemment fait l'objet d'une synthèse (ELIE et ROCHARD, 1995).

## Les concepts de base

Un simulateur individus-centré de migration de civelles en estuaire repose sur le couplage entre les fluctuations spatio-temporelles des caractéristiques du milieu estuarien et le comportement migratoire d'un individu en cours de migration.

La zone estuarienne, écotone entre la mer et les eaux douces doit être considérée comme une zone hétérogène de par :

- sa morphologie variable, (variations de l'ordre du kilomètre dans le cas des grands estuaires ),
- les fluctuations saisonnières des masses d'eau en présence (pas de temps journalier),
- l'influence des cycles nycthémeraux (variations horaires)
- les variations liées aux flux de marée (à l'échelle de l'heure et du kilomètre
- l'incidence des crues (variations aléatoires)

Un tel environnement peut être simulé par une succession d'arrangements spatiaux de différents fragments plus homogènes d'habitats (LE PAGE, 1993) appelés cellules ou "patches".

La migration anadrome de la civelle en zone estuarienne est basée sur le déplacement orienté vers l'eau douce (FONTAINE et CALLAMAND, 1941) par utilisation préférentielle du courant de flot et sur un comportement de recherche d'abris lors du jusant (McCleave and KLECKNER, 1982).

La civelle dans sa phase de migration peut être donc considérée comme un agent, surtout réactif, ses déplacements sont bloqués par exemple pour des températures inférieures à 4 - 4.5 °C (DEDDLER, 1952; BEN ABDALLAH, 1991) ou des vitesses contraires de .50 ms<sup>-1</sup> (CLEMENT, 1976) mais quelque peu cognitif (et le terme en usage est mal approprié) puisqu'elle est "programmée" ou moins pour la plupart, pour remonter vers les cours d'eau.

Par ailleurs, la période de migration estuarienne correspondant à la fin d'une phase de métamorphose, le comportement de la civelle doit être considéré comme évolutif au cours du temps. Par exemple, son caractère lucifuge s'accroît avec l'augmentation de sa pigmentation (GANDOLFI *et al.*, 1984) et donc au fur et à mesure de sa métamorphose.

Enfin, il n'est pas exclu que l'intensité du phénomène de migration soit densité-dépendante, ce qui revient à dire que le comportement d'un individu peut être influencé par le comportement des autres ou d'une partie des autres individus (effet-banc).

La variabilité inter-individuelle des réponses à un stimulus extérieur, le caractère aléatoire de la mortalité font que le modèle ne peut être que stochastique.

La programmation orientée-objet est une technique adaptée à la représentation d'une part de processus basés sur des comportements individuels et d'autre part d'une hétérogénéité spatiale (SAARENMAA *et al.*, 1988). L'engouement actuel pour ce type de modélisation réside dans un parallélisme entre objet du programme et agent du modèle, la traduction des différents comportements se faisant alors naturellement (LE PAGE, 1993).

Il faut ajouter pour la migration de la civelle deux autres acteurs dans ce système, les pêcheurs qui exercent une prédation dans un but de profit et le scientifique dont l'objet est de visualiser les différents aspects du phénomène. Dans un premier temps, seul le second a été implémenté.

## **Confrontation avec des données de terrain**

Le calage se fait

- en premier lieu, par comparaison entre le cumul journalier des abondances calculées par le modèle dans certaines cellules et les indices d'abondance (captures par unité d'effort) issus des déclarations journalières d'un ou plusieurs pêcheurs professionnels de l'estuaire,
- en deuxième lieu, par comparaison au cours de la saison entre les histogrammes cumulés des différents stades pigmentaires observés (ou théoriques) et ceux issus de la modélisation,
- éventuellement, par comparaison des structures en taille observées (ou théoriques) avec celles issues de la modélisation.

Les résultats du modèle ont été confrontés aux données issues de la pêche professionnelle de l'estuaire de la Gironde pour la saison 1987-1988.

## **Conclusions**

Cette approche en organisant l'ensemble des connaissances concernant l'écologie de la civelle en migration permet grâce à des simulations avec des jeux de données environnementales réelles, de tester le mode d'action des différents facteurs du milieu.

## Bibliographie

- ANONYME, 1984. Rapport de synthèse et programme quinquennal. Groupe national anguille, 60 p.
- BEN ABDALLAH L., 1991. Influence de quelques facteurs abiotiques sur l'abondance de civelle d'*Anguilla anguilla* dans l'estuaire de la Loire (France). CEPCI/FAO Working Party on Eel, Dublin (Irlande), Avril 1991, 12 p
- BRUSLE J., 1990. L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*), une espèce jugée commune jusqu'à la décennie, mérite-t-elle d'acquérir aujourd'hui le statut d'espèce menacée ? Bull. Soc. Zool. Fr. 114(3), 61-73.
- CASTELNAUD G., GUERAUULT D., DESAUNAY Y. et ELIE P., 1995. Bilan de l'exploitation de la civelle en France. Bull. Fr. Pêche et Pisc. (sous presse)
- CLEMENT O., 1976. Comportement des civelles dans l'estuaire de la Gironde. résistance des civelles à un courant de vitesse variable. Journées de la thermo-écologie, E.D.F. /C.O.B. Brest, 267-278.
- DEELDER C., 1952. On the migration of the elver (*Anguilla vulgaris* Turt.) at sea. Journal du Conseil. CIEM 18. 187-218
- ELIE P. et ROCHARD E., 1995. Migration des civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalité du phénomène et caractéristiques des individus. Bull. Fr. Pêche et Pisc. (sous presse).
- FONTAINE M. et CALLAMAND O., 1941. Sur l'hydrotropisme des civelles. Bull. Inst. Océanogr. Monaco, 811, 1-6.
- GANDOLFI G., PESARO M. and TONGIORGI P., 1984. Environmental factors affecting the ascent of elvers, *Anguilla anguilla* (L.), into the Arno river. *Oebalia*, Vol X, 17-35.
- JOLIVET M et PAVE A., 1993. L'environnement : un champs de recherche en formation. *Natures-Sciences-Sociétés* 1(1), 6-20.
- LAMBERT P., 1995. Synthèse des concepts de modélisation du phénomène de migration des civelles d'*Anguilla anguilla* en estuaire. Bull. Fr. Pêche et Pisc. (sous presse).
- LE PAGE C., 1992. Variabilité environnementale et structuration spatiale de la reproduction. Communication au premier forum halieumétrique. Rennes, 1993. 15 p.
- MAC CLEAVE J.D. and KLECKNER R.C., 1982. Selective tidal stream transport in the estuarine migration of glass eel of the american eel (*Anguilla rostrata*). *J. Cons. Int. Explor. Mer*, 40, 262-271.
- SAARENMAA H., STONE N.D., FOLSE L.J., PACKARD J.M., GRANT W.E., MAKELA M.E. and COULSON R.N., 1988. An artificial intelligence modelling approach to simulating animal/habitat interactions. *Ecological Modelling* 44., 125-145.
- SCHOENER T.W., 1986. Mechanistic approaches to community ecology : a new reductionism ? *Amer. Zool.* 26, 81-106.
- MORIARTY C., 1987. Factors influencing recruitment of the atlantic species of anguillid eels. American Fisheries Society Symposium 1. 483-491.

# Dynamique des Populations et Vie Artificielle\*

CHRISTOPHE LE PAGE

Laboratoire d'Informatique Appliquée, ORSTOM, 93143 Bondy Cedex

Email: lepagec@bondy.orstom.fr

5 avril 1995

## 1 De nouveaux outils de simulation pour démêler la complexité des systèmes vivants

L'hétérogénéité spatiale est une des caractéristiques les plus évidentes de la nature, et c'est aussi sans doute l'un des plus importants facteurs influençant la dynamique d'une population [1]. Par ailleurs, dans le domaine de la biologie des populations, on commence à se rendre compte de l'influence de la variabilité inter-individuelle sur la dynamique de la population [2]. Après avoir passé en revue les différents types de modèles de dynamique des populations qui permettent d'intégrer l'une ou l'autre de ces caractéristiques, on montre que les modèles de "Vie Artificielle" représentent un moyen de les associer.

### 1.1 Intégration de la dimension spatiale

On distingue deux types de méthodes pour intégrer l'hétérogénéité spatiale dans les modèles de dynamique des populations, chacune ayant une façon propre d'aborder le problème:

- les modèles de type *réaction/diffusion* considèrent la population comme une seule entité qui croît et se propage dans son environnement par dispersion. L'hétérogénéité spatiale est prise en compte en assignant différents paramètres de diffusion et/ou dynamiques de croissance à la population en différentes régions.
- Les modèles de métapopulation décrivent une population comme un ensemble de sous-populations séparées dans l'espace, chacune ayant sa propre dynamique interne, et entre lesquelles les individus se déplacent [3] [4] [5]. Au contraire des modèles de réaction-diffusion, les modèles de métapopulation limitent la distribution spatiale de la population à des emplacements précis et ne permettent pas aux individus de se propager dans toutes les directions.

---

\*Proposition de communication au deuxième Forum Halieumétrique, Nantes, 26-28 juin 1995

## 1.2 Intégration de la variabilité inter-individuelle: les modèles basés sur l'individu

Un certain nombre de modèles récents éliminent l'hypothèse classique d'équivalence des individus d'une population ou d'une classe d'âge. Ces Modèles Basés sur l'Individu (MBI) concernent des populations au sein desquelles les individus diffèrent par leur activités de recherche de ressources, par leur taux de croissance ou de mortalité. Les MBI suivent ces individus au cours d'une ou plusieurs étapes critiques de leur cycle de vie.

Les travaux de Lomnicki font le lien entre les effets de la variabilité inter-individuelle et l'hétérogénéité spatiale au niveau de la dynamique d'une population [6] [7]. Lomnicki a notamment montré qu'on peut parvenir à stabiliser la dynamique d'une population simplement en considérant que les individus se déplacent de manière à maximiser leur degré d'adaptation (*fitness*).

En halieutique, les MBI ne tiennent généralement pas compte du fait que les individus vivent et se déplacent dans un environnement spatialement hétérogène. Et lorsqu'on examine les modèles qui eux s'attachent à décrire les déplacements d'individus, la plupart du temps on constate qu'ils n'intègrent pas le degré de variabilité biologique entre individus propre aux MBI. Il existe donc un réel besoin de MBI avec représentation explicite de l'espace [2].

## 1.3 La Vie Artificielle: un moyen d'inclure une représentation explicite de l'espace à un modèle basé sur l'individu

Pendant que les biologistes des populations établissaient ce constat [2], certaines méthodes dérivées de l'*Intelligence Artificielle* ont commencé à intéresser les modélisateurs [8]. Lorsqu'il s'agit de retranscrire des interactions comportementales, la conception orientée-objets d'un programme de simulation rend cette étape presque naturelle. Chaque entité (*objet*) informatique (*artificielle*) du modèle correspond à une entité naturelle du système étudié. Ces différentes entités échangent des informations et agissent en retour de manière autonome. Cette capacité d'action leur vaut l'appellation d'*agents* et le modèle qui les regroupe est appelé *système multi-agents* [9]. Venu des Etats-Unis, le terme *Vie Artificielle* [10], qui englobe en réalité bien d'autres aspects, exprime bien la nature de ce type de modèles appliqués à la biologie des populations. La *Vie Artificielle* est un champ de recherche relativement récent qu'on peut situer sur la branche ascendante de l'*Intelligence Artificielle*: le modèle est bâti à partir des constituants microscopiques du système étudié, et la "complexité" observée à une échelle macroscopique résulte de l'assemblage d'un grand nombre de ces constituants de base. Dans la nature, un exemple particulièrement frappant de ce type d'organisation est donné par les insectes sociaux. Il a inspiré le terme d'*intelligence en essain* qui en informatique désigne les méthodes de résolution collective de problèmes.

Un certain nombre d'études récentes portant sur la biologie de populations animales se réfèrent à ce type de modélisation. Ainsi Drogoul [11] s'intéresse à la sociogenèse d'une fourmilière, Dagorn [12] modélise l'influence de l'environnement sur le comportement de migration de thonidés tropicaux, Mesle [?]

simule le comportement de déplacement en banc d'un groupe de poissons. Tous ces modèles sont centrés sur les individus mais décrivent des phénomènes qui se manifestent au niveau d'un groupe d'individus (banc ou société).

C'est dans cet esprit que le simulateur SeaLab a été développé. Il a pour vocation d'aider à mieux comprendre comment -au travers de relations écologiques et comportementales exprimées au niveau individuel- les facteurs environnementaux influencent le succès du recrutement et les patterns de distribution des populations de poissons. La partie suivante propose une présentation de cet outil de simulation qui servira de support à la discussion portant sur l'utilité de ce type de modèles.

## 2 Le simulateur SeaLab

Le modèle développé est composé de deux parties distinctes: la première concerne la modélisation d'un environnement hétérogène et fluctuant et constitue le support de la seconde, la ressource vivante, en l'occurrence des populations de poissons.

L'espace dans SeaLab est représenté par une grille rectangulaire composée d'unités spatiales élémentaires représentées sous forme de cellules hexagonales. Au sein de chacune des cellules spatiales hexagonales, l'environnement est supposé homogène et caractérisé par un indice hydro-climatique synthétique (*ihc*). Cet indice exprime une combinaison de l'ensemble des facteurs abiotiques qui ont une influence sur le succès de la reproduction des individus. Pour chacune des modalités de l'indice hydro-climatique, on associe un succès reproductif exprimé en nombre de descendants qui parviendront à un âge où ils seront en état de se reproduire à leur tour. Cette unité de succès reproductif est classiquement utilisée en écologie évolutive. En ce qui concerne SeaLab, elle nous autorise à court-circuiter tout le processus de recrutement, c'est-à-dire la survie des larves puis des juvéniles. SeaLab se concentre donc sur le processus de reproduction: seule la phase de reproduction proprement dite sera explicitement simulée. Cette phase se déroule pendant une *période de reproduction* au cours de laquelle les individus effectuent des déplacements élémentaires (passages d'une cellule à une cellule voisine) tant qu'ils ne se sont pas reproduits. Entre le moment de sa reproduction et le début de la saison de reproduction suivante, les déplacements d'un individu (larve ou adulte) ne seront pas simulés, mais on en rendra compte sous la forme d'un processus de *dispersion hors période de reproduction*. Une saison de reproduction est caractérisée par une situation environnementale donnée: la valeur de l'indice hydro-climatique de chacune des cellules de la grille spatiale reste la même tout au long de la saison de reproduction. Au début de chaque saison de reproduction, on établit une nouvelle situation environnementale en fonction d'un scénario climatique prédéfini.

## 3 Quel intérêt, quelle utilisation ?

Le principal intérêt d'un tel type de modèle réside dans sa capacité à explorer des dynamiques non résolubles analytiquement (dans le domaine non-linéaire

par exemple), mais aussi à représenter des processus qui sont difficiles à retranscrire par des équations (typiquement des comportements, comme la migration par exemple). Au delà de cet intérêt fondamental, deux autres aspects méritent qu'on y prête attention.

### 3.1 Un modèle *en amont*

Un modèle de Vie Artificielle impose au modélisateur de définir un système à *partir de rien*, et il faut bien entendu que celui-ci ressemble suffisamment au système naturel étudié pour que l'analogie soit acceptable. L'étape la plus délicate concerne l'identification et la retranscription des éléments et des processus fondamentaux du système à modéliser. Dans cette phase de construction du monde artificiel, le modélisateur est amené à tester l'influence de chacun des éléments ou processus qu'il envisage d'incorporer au modèle. L'intérêt supplémentaire de la Vie Artificielle, c'est qu'on peut combiner les effets de plusieurs processus et examiner les conséquences d'une telle combinaison sur le comportement du modèle. En quelque sorte, le simulateur constitue un outil d'analyse de sensibilité du système à la fois très souple et très complet. Dans le cadre de SeaLab, on a ainsi pu établir qu'il existe une relation bien définie entre d'une part le régime d'évolution du niveau d'abondance de la population et d'autre part le degré de structuration spatiale de l'environnement, le nombre de déplacements élémentaires d'un individu pendant une saison de reproduction, et la capacité de dispersion d'un individu hors période de reproduction. Le type de renseignements fournis par une analyse de sensibilité correspond bien à ce qu'on attend d'une phase *préliminaire* lors de l'étude d'un système: l'identification des éléments ou processus qui ont le plus d'influence sur le comportement de ce système.

### 3.2 Un *métamodèle*

On utilise souvent la métaphore du *laboratoire virtuel* pour rendre compte de la particularité des simulateurs de Vie Artificielle. L'idée de considérer les jeux de données issus de la simulation au même niveau que les jeux de données empiriques est une des idées fondatrices de la Vie Artificielle [10]. Cette idée est bien sûr applicable à n'importe quel type de modèle, mais dans le cadre des modèles de Vie Artificielle elle se réfère au concept d'émergence à un niveau global de phénomènes induits par le comportement au niveau local des éléments de base du système. Dans le cadre de SeaLab, il est par exemple très intéressant de s'attacher à la détection de la régulation du niveau d'abondance de la population, et si elle existe, de déterminer la manière dont elle s'exprime. Si le succès reproductif des individus est conditionné par la densité de population localement, dans les cellules, dans quelle mesure peut-on le détecter au niveau global, avec une relation de type stock/recrutement classiquement utilisée par les halieutes?

## Références

- [1] P. Kareiva. Population dynamics in spacially complex environments: theory and data. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 330:175–190, 1990.
- [2] J.A. Tyler and K.A. Rose. Individual variability and spatial heterogeneity in fish population models. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 4(1):91–123, mar 1994.
- [3] R.M. May and T.R.E. Southwood. Introducti. In Shorrocks and Swingland [13], pages 1–22.
- [4] I. Hanski and M. Gulpin. Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. In M.Gilpin and Hanski [14]. Reprinted from the Biological Journal of the Linnean Society, Vol. 42: 1 & 2.
- [5] I. Hanski. Single-species metapopulation dynamics: concepts, models and observations. In M.Gilpin and Hanski [14]. Reprinted from the Biological Journal of the Linnean Society, Vol. 42: 1 & 2.
- [6] A. Lomnicki. Individual differences between animals and the natural regulation of their numbers. *J. Anim. Ecol.*, 47:461–475, 1978.
- [7] A. Lomnicki. Regulation of population density due to individual differences and patchy environment. *OIKOS*, 35:185–193, 1980.
- [8] O.P. Judson. The rise of individual-based model in ecology. *Tree*, 9(1):9–14, 1994.
- [9] J. Ferber. Des systèmes multi-agents pour simuler le vivant. In *Deuzième Colloque Africain de Recherche en Informatique*, pages 21–43, Ouagadougou, 1994. ORSTOM Éditions.
- [10] C.G. Langton. Artificial life. In C.G. Langton, editor, *Artificial Life. Proceedings of an interdisciplinarity workshop on the synthesis and simulation of living systems*, pages 1–47. Addison-Wesley, 1989.
- [11] A. Drogoul, J. Ferber, B. Corbara, and D. Fresneau. A behavioral simulation model for the study of emergent social structures. In *Towards a practice of autonomous systems*, pages 161–170. MIT Press, Cambridge, 1992.
- [12] L. Dagorn. *Le comportement des thons tropicaux modilisi selon les principes de la vie artificielle*. PhD thesis, École Nationale Supirieur d’Agriculture de Rennes, September 1994.
- [13] B. Shorrocks and I.R. Swingland, editors. *Living in a patchy environment*. Oxford University Press, 1990.
- [14] M.Gilpin and I. Hanski, editors. *Metapopulation dynamics: empirical and theoretical investigations*. Academic Press, 1991. Reprinted from the Biological Journal of the Linnean Society, Vol. 42: 1 & 2.

## **Modélisation stochastique du cycle biologique du Saumon atlantique (*Salmo salar* L.) : bases biologiques, implémentation informatique et interprétation**

DUMAS J.<sup>(1)</sup>, FAIVRE R.<sup>(2)</sup>, CHARRON M.H.<sup>(2)</sup>, BADIA J.<sup>(2)</sup>, DAVATNE P.<sup>(1)</sup>, PROUZET P.<sup>(3)</sup>

(1) INRA, Station d'Hydrobiologie, BP 3, 64310 Saint Pée sur Nivelles

(2) INRA, Station de Biométrie et Intelligence artificielle, BP 27, 31326 Castanet Tolosan Cedex

(3) IFRFMER, Station d'Hydrobiologie INRA, BP 3, 64310 Saint Pée sur Nivelles

La dynamique des populations de salmonidés migrateurs anadromes est influencée par diverses contraintes environnementales naturelles (caractéristiques des bassins versants et des habitats des cours d'eau, climat et débits) ou anthropiques (aménagement de barrages, pratiques agricoles et industrielles, urbanisations, pêche). Ces contraintes agissent en rivière sur la qualité de l'eau, des zones de frai, de production de jeunes, de stabulation des adultes, sur leur accessibilité et, dans le cas de la pêche en mer ou en eau douce, directement sur les stocks. Elles conditionnent l'abondance des populations, leur gestion et leur exploitation.

Afin d'atteindre une meilleure compréhension des relations entre ces facteurs et les stocks, un modèle de fonctionnement de cycle biologique est réalisé.

Le modèle conceptuel général décrit l'évolution numérique de la population sur une année (Fig. 1). Il reprend les phases successives de la vie de l'espèce en tenant compte des étapes « clés » et des stades quantifiables par les biologistes :

- vie embryonnaire sous les graviers (des oeufs déposés aux alevins émergents) ;
- vie juvénile en eau douce (de l'émergence aux stades tancs d'automne, puis futurs smolts ou sédentaires, puis smolts descendant en mer) ;
- vie marine (des smolts aux sub-adultes en grossissement, puis aux adultes de retour entrant en estuaire) ;
- remontée en rivière (des remontants aux géniteurs potentiels, puis géniteurs au moment de la reproduction).

Le calcul des effectifs de chaque étape considère celui de l'étape précédente, la durée et le taux de survie entre chacune d'elle qui est lié aux contraintes mesurables naturelles (surfaces de production de jeunes, densité de compétiteurs) ou aux effets de la pêche (en mer, en zone côtière, en estuaire, en rivière). Ce taux de survie peut être considéré soit fixé (déterministe), soit associé à une loi de distribution lorsque sa valeur diffère d'une année à l'autre comme ceci peut être le cas pour les conditions de reproduction (liées à l'intensité des crues, aux taux de sédiments fins) ou à la pêche en mer.

Une implémentation informatique de ce modèle a été réalisée sous le logiciel Splus. Ce programme CBS (pour Cycle Biologique du Saumon) permet la simulation de scénarios du devenir des populations. CBS permet de choisir interactivement les hypothèses biologiques des scénarios et réalise la prédiction sur plusieurs années des populations dans les différents

contextes ainsi que les taux de remontées. CBS permet également une visualisation graphique des différentes évolutions. L'analyse des scénarios (influence d'un ou plusieurs paramètres du modèle) est réalisée par un autre programme ACB (Analyse de Cycles Biologiques) et est utilisable interactivement. Il utilise le programme précédent et offre la possibilité de visualiser rapidement les effets des paramètres sur les distributions des résultats. La rapidité de ces programmes en fait un outil efficace d'aide à l'interprétation des résultats.

Un exemple a été choisi pour illustrer l'utilisation d'un modèle de ce type, celui du Saumon atlantique, principalement illustré avec les données de la population de la Nivelle.



# UNE RELATION STOCK-RECRUTEMENT GENERALISEE AJUSTEE A LA PRODUCTION OBSERVEE : IMPLICATIONS SUR LA DYNAMIQUE DU RECRUTEMENT.

Olivier Maury  
ENSAR halieutique  
65, rue de Saint-Brieuc 35042 Rennes cedex  
France

Le recrutement observé connaît une telle variabilité qu'il est dans la plupart des cas impossible d'y ajuster un modèle de relation stock-recrutement. Une méthode de détermination de la relation stock-recrutement fondée sur la comparaison d'un modèle global et d'un modèle de rendements par recrue est proposée ici.

## I- METHODE

Les modèles globaux qui expriment la production équilibrée en fonction de la mortalité par pêche ( $Y_e(F)$ ) contiennent implicitement de façon heuristique les effets du recrutement et ceux de la mortalité et de la croissance (Gulland, 1977 ; Sissenwine et Shepherd, 1987). Le principe proposé est, à l'aide d'un modèle de rendements par recrues ( $Y/R(F)$ ), d'isoler les phénomènes de densité dépendance intégrés aux modèles globaux. En faisant l'hypothèse largement admise aujourd'hui que la densité dépendance s'exprime essentiellement au niveau des stades pré-recrutés, on peut écrire :

$$Y_e(F) = \frac{Y}{R}(F) \cdot R_e(F)$$

soit :

$$R_e(F) = \frac{Y_e(F)}{\frac{Y}{R}(F)}$$

Par analogie avec le rendement par recrue, on peut par ailleurs calculer facilement la biomasse féconde par recrue en fonction d'un multiplicateur de la mortalité par pêche. On en déduit la biomasse féconde équilibrée  $BF_e$  correspondant au recrutement équilibré  $R_e$  :

$$BF_e(F) = \frac{BF}{R}(F) \cdot R_e(F)$$

Connaissant le recrutement équilibré et la biomasse féconde équilibrée exprimés en fonction du même multiplicateur de la mortalité par pêche, on trace points par points la courbe de recrutement équilibré en fonction de la biomasse féconde équilibrée. Cette courbe correspond à la relation stock-recrutement implicitement contenue dans le modèle de production ajusté.

Considérons maintenant le recrutement comme résultant de l'effet d'une relation stock-recrutement intrinsèque à la population étudiée et d'un bruit environnemental permanent extrinsèque (biotique et abiotique). Le bruit environnemental est dans la plupart des cas important, voire déterminant dans l'évolution du recrutement ; la relation stock-recrutement demeure ainsi "invisible". Pour cette raison, l'évolution du recrutement et de la biomasse féconde vers un état d'équilibre  $R_e$  et  $BF_e$  demeure improbable en pratique et ne garde qu'un intérêt théorique. Néanmoins, par définition, le recrutement équilibré  $R_e(F)$  parcourt la courbe de la relation stock-recrutement quand  $F$  varie (Moran, 1950 in Gulland, 1977) (fig n° 1); la courbe de recrutement équilibrée obtenue est donc aussi la courbe de la relation stock-recrutement ( $R/BF$ ). La relation stock-recrutement ainsi déterminée ne fait donc plus référence à un quelconque équilibre avec la mortalité par pêche qui ne servait qu'à parcourir la courbe théorique de recrutement équilibré (fig. n° 1).

On peut dès lors considérer la courbe obtenue comme une relation stock-recrutement ajustée non au recrutement observé, mais à la production observée.

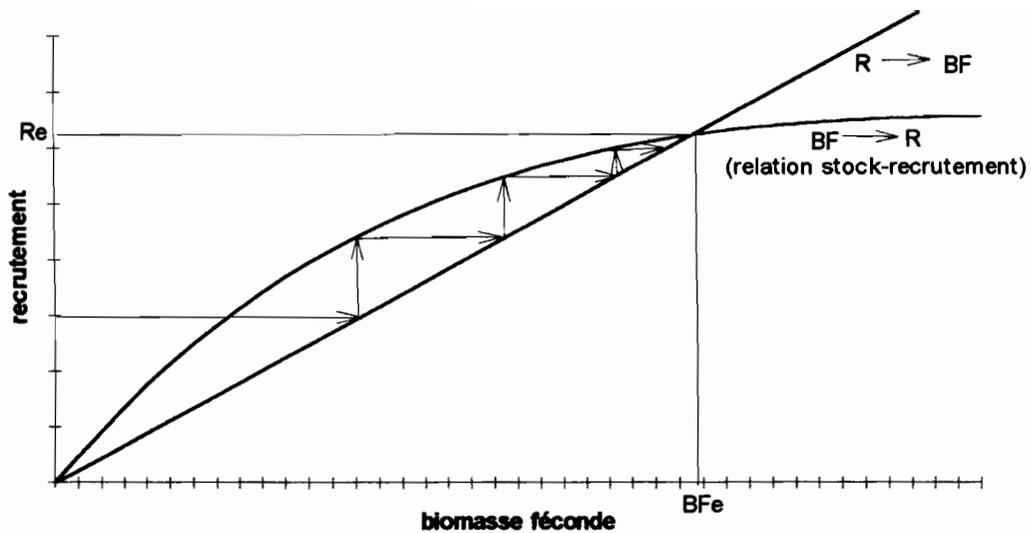


fig. n° 1 : relation théorique entre la relation stock-recrutement et le recrutement équilibré

La méthode précédemment exposée est appliquée à des données réelles provenant de différents groupes de travail du CIEM chargés d'évaluer les stocks par l'analyse des cohortes. Le logiciel CLIMPROD de la FAO est utilisé pour ajuster un modèle global généralisé (Pella et Tomlinson, 1969) aux données de captures et d'effort. L'effort effectif est calculé en faisant une moyenne arithmétique des mortalités par pêche par âges calculées par les groupes de travail.

Pour explorer théoriquement les propriétés de la relation stock-recrutement déterminée, les paramètres d'ajustement ( modèle global, taux de fécondité, ...) sont modifiés progressivement. Deux cas sont envisagés : un poisson à durée de vie courte et croissance faible (type petit pélagique) et un poisson à durée de vie longue et croissance importante (type gadidé).

## II- RESULTATS

### A- Relation stock-recrutement obtenue dans le cas général

Pour la plupart des espèces testées, la relation stock-recrutement obtenue est une relation admettant un maximum (fig. n° 2). Deux exemples sont présentés ici à titre d'illustration : la morue et le merlan de la zone CIEM VIa (ouest écosses) évalués en 1991.

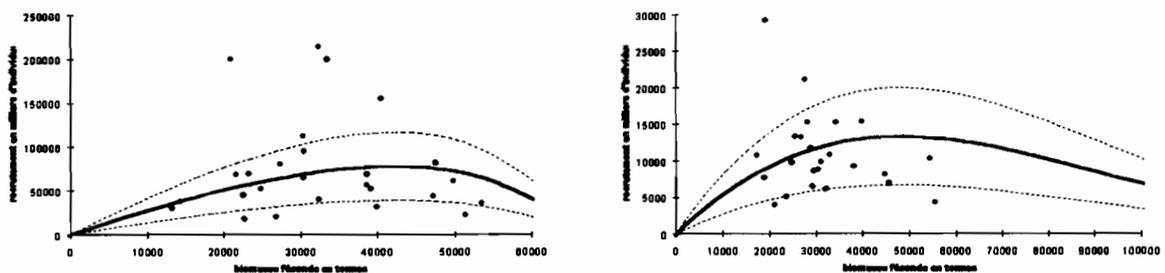


fig. n° 2 : application à des données réelles : à gauche, le merlan et à droite la morue de la zone ouest Ecosse. Les relations stock-recrutement obtenues sont tracées (courbes) ainsi que le recrutement observé (points).

L'intérêt de la méthode est de permettre l'ajustement d'une relation stock-recrutement "intrinsèque" à des données de recrutement apparemment erratiques exprimant simultanément une tendance "intrinsèque" et des perturbations environnementales "extrinsèques". La figure n°2 illustrent bien l'allure satisfaisante des relations stock-recrutement malgré l'impossibilité d'ajuster a priori une courbe au recrutement observé.

## B- Déformation de la courbe pour certaines valeurs des paramètres

Pour des valeurs réalistes des paramètres, la courbe se déforme jusqu'à former une boucle (fig. n°3). A une même biomasse féconde correspond alors deux valeurs de recrutement équilibré possibles. Les relations stock-recrutement en forme de boucle apparaissent dans différents cas :

- décalage important entre le  $F_{msy}$  du modèle global et le  $F_{max}$  du modèle de rendements par recrue,
- diminution du taux de fécondité chez les poissons âgés,
- durée de vie courte et faible croissance.

Une telle courbe en boucle est par exemple obtenue avec des paramètres biologiques (mortalité naturelle, poids aux âges, taux de fécondité) qui sont ceux de la sardine du golfe de Gascogne (fig. n°3).

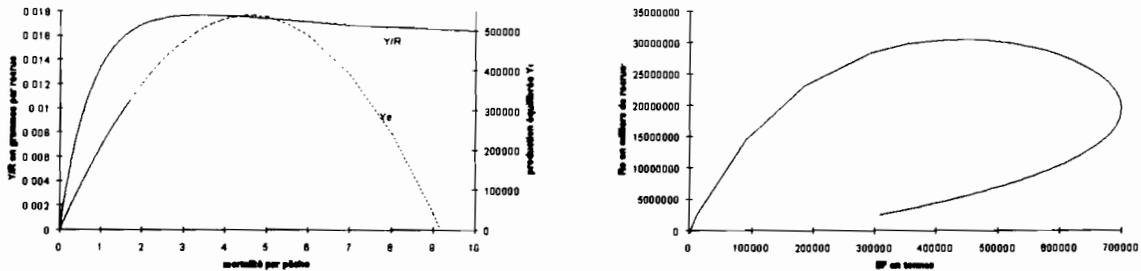


fig. n°3 : la relation stock-recrutement en forme de boucle -à droite- et les modèles globaux et de rendements par recrue sous-jacents-à gauche-. (nota : Le vecteur de mortalité par pêche a été artificiellement augmenté sur les poissons âgés; le modèle global est ajusté sur des données qui n'allaient pas au delà de la mortalité par pêche égale à 1.2).

Une relation stock-recrutement en forme de boucle permet d'envisager des évolutions complexes du recrutement comportant une composante non déterministe à deux modalités. Celui-ci pourrait en effet passer d'une situation de fluctuations extrinsèques autour d'une situation intrinsèque "haute" à une situation de fluctuations autour d'une situation intrinsèque "basse" (fig. n°4).

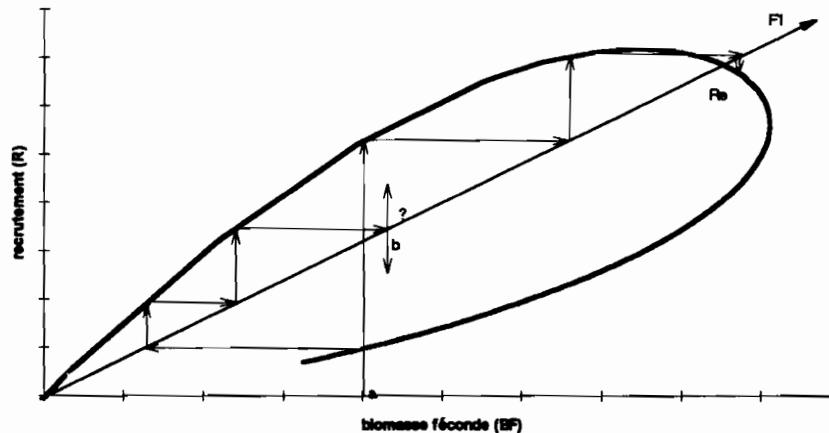


fig. n°4 : évolution théorique possible du recrutement dans le cas d'une relation en forme de boucle.

La figure n°4 présente la multiplicité des évolutions possibles que permet d'envisager une relation stock-recrutement en forme de boucle avec une mortalité par pêche  $F1$ . Envisageons par exemple une situation de biomasse féconde initiale en  $a$ . Le recrutement peut, à partir de  $a$ , évoluer vers la situation d'équilibre ( $Re$ ) associée à  $F1$  si on n'envisage que la possibilité d'un recrutement intrinsèquement "haut" et l'absence de phénomènes extrinsèques. Si maintenant, toujours à partir de  $a$ , c'est un recrutement "bas" qui se produit, la biomasse féconde va baisser puis augmenter à nouveau jusqu'à atteindre un niveau  $b$  pour lequel deux recrutements sont à nouveau envisageables... Le stock peut ainsi soit rester à un niveau de recrutement intrinsèque "haut", soit fluctuer plus ou moins durablement dans des valeurs intrinsèques basses (stock effondré), soit osciller sans raisons apparentes entre les deux niveaux de recrutement.

### III- DISCUSSION

En faisant implicitement l'hypothèse que les phénomènes compensatoires de densité-dépendance ne concernent que les phases pré-recrutées, différents auteurs ont proposé d'associer une relation stock-recrutement à un modèle de rendements par recrue structuré par âge pour estimer un modèle de production (Beverton et Holt, 1957 ; Cushing, 1971 ; Garrod *et al.*, 1974 ; Shepherd, 1982). Sans faire cette hypothèse, Kimura (1988) procède de même en utilisant un modèle d'analyse de réduction du stock (Kimura *et al.*, 1982 et 1984 *in* Kimura, 1988). Le principe de la méthode proposée ici est, au contraire, d'identifier dans un modèle global les effets du recrutement en les isolant des effets de la croissance et de la mortalité par comparaison avec un modèle de rendement par recrue. Son intérêt essentiel est de permettre de déterminer une relation stock-recrutement à partir de données de captures par âge. La relation stock-recrutement telle qu'elle est définie ici est une **relation stock-recrutement généralisée**. Le qualificatif de généralisé se justifie par le fait que la méthode présentée permet d'obtenir différentes familles de courbes dont certaines sont très proches des modèles usuellement utilisés en halieutique (Ricker, 1954 ; Beverton et Holt, 1957 ; Shepherd, 1982 ; Deriso, 1980) et d'autres, comme la famille des boucles, qui sont plus surprenantes et de formes très diverses. La fiabilité des relations ajustées dépend entre autre de la sensibilité au choix et à l'ajustement du modèle global. Les ajustements effectués ici ont un intérêt purement illustratif; d'autres ajustements d'un modèle global sont certainement possibles et statistiquement également valides (Laloë, 1995). Ils conduiraient à des courbes stock-recrutement pouvant avoir des allures différentes.

En considérant que le recrutement résulte de l'influence simultanée d'une tendance "intrinsèque" et de fluctuations environnementales "extrinsèques" aujourd'hui difficilement prévisibles, on comprend aisément que les prévisions quantitatives du recrutement soient sinon impossibles, en tout cas extrêmement problématique. Face à cette imprédictibilité, une étude qualitative de l'évolution du recrutement (i.e. une étude de son espérance) pourrait être facilitée par la connaissance de la relation stock-recrutement généralisée.

D'un point de vue quantitatif, l'évolution du recrutement pourrait théoriquement être prédite grâce à la connaissance des principaux déterminants "extrinsèques" (environnementaux) dont l'effet vient modifier la relation stock-recrutement.

### BIBLIOGRAPHIE

- BEVERTON (R. J. H.) et HOLT (S. J.), 1957 - *On the dynamics of exploited fish populations ; Fishery Invest., Lond., Ser. 2, 19: 533p.*
- CUSHING (D.H.), 1971 - The dependence of recruitment on parent stock. *J. Fish Res. Bd Can.*, 30: 1965-76.
- GARROD (D. J.) et JONES (B. W.), 1974 - Stock and recruitment relationship in the northeast Artic cod stock and the implications for management of the stock, *J. Cons. int. Explor. Mer*, 36(1): 35-41.
- GULLAND (J. A.), 1977 - The stability of fish stocks, *J. Cons. int. Explor. Mer*, 37(3): 199-204.
- KIMURA (D. K.), 1988 - Stock-recruitment curves as used in the stock-reduction analysis model, *J. Cons. int. Explor. Mer*, 44: 253-258.
- LALOE (F.), 1995 - Should surplus production models be fishery description tools rather than biological models ?, *Aquat. Living Ressour.*, 8, 1-16.
- RICKER (W. E.), 1954 - Stock and Recruitment, *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 11 (5).
- SHEPHERD (J. G.), 1982 - A versatile new stock-recruitment relationship for fisheries, and the construction of sustainable yield curves, *J. Cons. int. Explor. Mer*, 40(1): 67-75.
- SISSENWINE (M. P.) et SHEPHERD (J. G.), 1987 - An Alternative Perspective on Recruitment Overfishing and Biological Reference Points, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 913-918.

## A propos des relations stock-recrutement\*

Suzanne Touzeau, Jean-Luc Gouzé

INRIA

BP 93

06902 Sophia-Antipolis Cedex

France

Tel 33 93 65 76 35

email stouzeau@sophia.inria.fr

### Position du problème

Lorsqu'en pêche, on souhaite modéliser l'ensemble du cycle vital des poissons, il est nécessaire d'exprimer le recrutement (i.e. l'entrée dans la phase exploitable). Certains modèles font appel à un recrutement constant ou purement stochastique. Une autre manière de faire est d'introduire une relation stock-recrutement, qui détermine le recrutement à partir de l'effectif ou la biomasse du stock fécond. Les deux relations classiques les plus utilisées sont celles de Ricker, et de Beverton et Holt [1].

Cependant, les comparaisons entre ces relations et les données expérimentales sont souvent décevantes [2, pp 243-268]. Pour clarifier ces modèles, nous avons modélisé la dynamique de la phase pré-recrutée.

En première approche, nous considérons que l'effort de pêche est maintenu constant et intégré dans le terme de mortalité.

### Présentation du modèle

Nous avons choisi un modèle en temps continu, structuré en  $(n+1)$  stades représentés par leur effectif  $x_i$ , le premier stade  $x_0$  étant la phase pré-recrutée (œufs, larves, juvéniles).

$$x_0' = -\alpha x_0 - m_0 x_0 + \sum_{i=1}^n f_i l_i x_i - \sum_{i=1}^n p_i x_i x_0 - p_0 (x_0)^2$$
$$x_i' = \alpha x_{i-1} - \alpha x_i - m_i x_i \quad (i = 1, \dots, n)$$

Chaque stade  $i$  ( $1$  à  $n$ ) du stock est soumis à mortalité (mort naturelle et pêche:  $m_i$ ) et passage ( $\alpha$ ).

Le premier stade d'effectif  $x_0$  est aussi soumis à mortalité ( $m_0$ ) et passage dans la classe supérieure; le nombre d'œufs (par unité de temps) introduits dans le stade 0 est donné par la somme des  $(f_i l_i x_i)$ , où  $f_i$  est la proportion d'individus féconds, et  $l_i$  le nombre moyen d'œufs émis par un tel individu. Les juvéniles sont aussi éventuellement soumis à de la prédation parentale du stade  $i$  ( $p_i x_i x_0$ ) et de la compétition ( $p_0 x_0^2$ ).

### Relation stock-recrutement ?

A partir de simulations, nous avons représenté le recrutement instantané:  $r(t) = \alpha x_0(t)$  en fonction du stock fécond à cet instant:  $x_f(t) = \sum f_i x_i(t)$  (cf figure ci-contre).

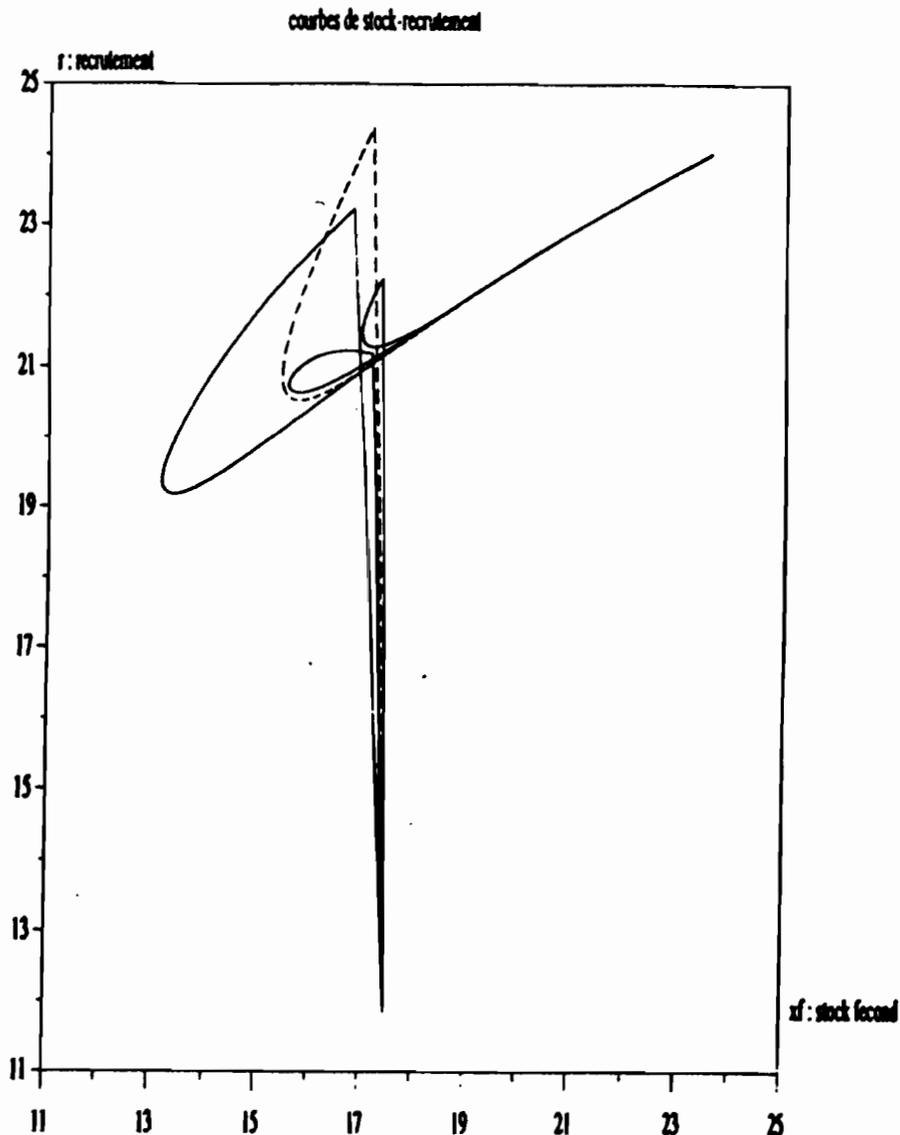
On remarque que, pour un jeu de paramètres donné:

- cette "relation stock-recrutement" n'est pas une fonction: à un stock fécond donné correspondent plusieurs recrutements possibles;
- elle dépend fortement des conditions initiales; il existe plusieurs répartitions dans les stades du stock donnant un même point initial sur le graphique:  $(x_f, r)$ .

La seule manière de retrouver une relation biunivoque stock-recrutement est de faire les hypothèses très restrictives suivantes:

- dynamique sur les juvéniles très rapide;
- pour tout  $i$ :  $f_i = f$ ,  $p_i = p$ ,  $l_i = 1$ , sauf pour certains indices où tous ces coefficients sont nuls.

On obtient alors une courbe d'allure semblable à celle de Beverton et Holt.



### Extensions

Pour mieux intégrer la pêche dans notre modèle, on peut introduire au niveau des termes de mortalité, un terme de contrôle dépendant du temps: l'effort de pêche  $E(t)$ , tel que:

$$m_i = m_i' + q_i E(t)$$

où:  $m_i'$  représente le taux de mortalité naturelle et  $q_i$  la capturabilité du stade  $i$ .

Par ailleurs, la pêche étant un phénomène saisonnier, on peut introduire au niveau des termes  $(l_i f_i x_i)$  une variable forçante périodique  $s(t)$ , de période une année. On obtient ainsi une saison de ponte de durée  $\tau$  dans l'année, en dehors de laquelle aucun œuf n'arrive en phase pré-recrutée.

On peut alors définir une notion de recrutement intégré sur une année et de stock fécond moyen, qu'il est plus facile de comparer avec les données expérimentales.

### Références

[1] Colin W. Clark. *Mathematical bioeconomics: the optimal management of renewable resources*. Pure and Applied Mathematics. Wiley, New-York, 1976.

[2] Ray Hilborn et Carl J. Walters. *Quantitative fisheries stock assessment: choice, dynamics & uncertainty*. Chapman and Hall, New-York, 1992.

[3] Alain Laurec et Jean-Claude Le Guen. *Dynamique des populations marines exploitées - Tome 1: Concepts et modèles. Rapports scientifiques et techniques 45, CNEXO, 1981. (cf éditions de l'IFREMER)*

**Mise en évidence de l'altération d'un système lothique par l'analyse d'une courte série de données stock/recrutement d'une espèce indicatrice, le Saumon atlantique (*Salmo salar*).**

*par*

Etienne PREVOST<sup>(1)</sup>, Jean-Luc BAGLINIERE<sup>(1)</sup>, Alix NIHOARN<sup>(2)</sup> et Gérard MAISSE<sup>(3)</sup>

(1) Laboratoire d'écologie aquatique, INRA, 65 rue de St Briec, 35042 Rennes cedex

(2) Délégation régionale Bretagne - Basse Normandie, Conseil supérieur de la pêche, 84 rue de Rennes, 35510 Cesson-Sévigné

(3) Laboratoire de physiologie des poissons, INRA, Campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex

Le Saumon atlantique (*Salmo salar*) peut être considéré comme une espèce indicatrice de qualité de milieu pour des écosystèmes lothiques. Pour la reproduction et le développement des juvéniles, des eaux fraîches et bien oxygénées sont requises. Lors des phases embryolaires sous graviers, l'espèce est particulièrement sensible à l'accumulation de matière fines (sables et limons) sur le fond de la rivière, ces dernières pouvant colmater les frayères, nuisant ainsi à l'alimentation en oxygène des embryons et à l'émergence des alevins.

Depuis 10 ans, le stock (les adultes venant se reproduire) et le recrutement (les juvéniles migrant vers la mer ou smolt) sont quantifiés par piégeage sur l'Oir, un affluent frayère de la Sélune (Baie du Mt St Michel). L'examen de ces premières données montre qu'au cours de la période d'étude, la dépose d'oeufs a chuté fortement dans un rapport de 1 à 5, alors que le flux de smolts est caractérisé par de fortes variations autour d'une légère tendance à la décroissance. Un diagnostic peut être porté sur le fonctionnement de l'Oir en tant que système de production de juvéniles de saumon, en "convertissant" les smolts en dépose d'oeufs potentielle. Il met en évidence son très faible niveau de productivité, qui ne permet un renouvellement des générations qu'à des niveaux faibles d'abondance du stock ou sous des conditions favorables de survie en mer ou de composition des retour d'adultes par classe d'âge de mer. L'apport de sédiments fins dans le lit du cours d'eau est la principale hypothèse explicative de la dégradation de l'Oir pour la production de juvéniles de saumon.

## Proposition pour le forum de l'Association Française d'Halieumétrie

### Un modèle de simulation bioéconomique autorégénérant

Application à l'étude des sources de variabilité dans les pêches et des conséquences de certaines institutions économiques sur leur dynamique à long terme

Christian Chaboud

Economiste

Orstom

Laboratoire d'Halieutique et Ecosystèmes Aquatiques -Montpellier

Un modèle de simulation bioéconomique autorégénérant a été conçu pour représenter la dynamique interannuelle d'une pêcherie. Il se fonde sur une représentation relativement simple des composantes biologique et économique du système modélisé. La dynamique de la ressource, monospécifique, est simulée au moyen d'un modèle analytique « classique », permettant de prendre en compte les ajustements interannuels et donc les situations de déséquilibre au sens biologique du terme. Différentes options sont disponibles pour représenter la capacité de renouvellement du stock exploité (existence ou non d'une relation S/R, introduction d'une composante stochastique paramétrable autour d'une loi moyenne). La partie économique du modèle, qui est reliée au modèle biologique par l'intermédiaire de la relation entre effort de pêche effectif et effort nominal, est divisée en deux composantes. La première comprend les principales relations qui conditionnent la dynamique endogène de l'activité de pêche : formation des prix, fonction de coût, fonction d'entrée-sortie dans la pêcherie. La seconde consiste en un ensemble de politiques d'intervention à travers la possibilité de redéfinir à chaque pas de temps les paramètres définissant diverses possibilités d'aménagement (taxation/subvention de l'effort de pêche, des revenus, contrôle de l'âge à la première capture, quota annuel global, intervention sur les prix, contrôle du nombre d'unités de pêche).

Etant donnés les paramètres économiques et biologiques de départ, et les éventuelles décisions de gestion annuelle, le modèle simule l'évolution, année par année, des principales variables descriptives de la dynamique bioéconomique.

L'utilisation la plus simple du modèle vise à tester la conséquence de mesures d'aménagement simples ou complexes (au sens où plusieurs décisions peuvent être prises simultanément). Le modèle permet également de montrer comment certains paramètres économiques (pente de la fonction de demande, paramètres de la fonction d'entrée sortie) peuvent être à l'origine d'une dynamique instable, voire chaotique, et ceci en l'absence d'éléments stochastiques dans la chaîne des causalités.

L'introduction d'éléments stochastiques (par exemple dans la relation S/R) permet de simuler le comportement dynamique à long terme de la pêcherie en situation d'incertitude, et ceci pour différents niveaux de la composante aléatoire. Ceci permet notamment de mesurer l'impact régulateur de certaines formes d'institutions économiques, comme le système de rémunération à la part, dans un tel contexte.

# MODÈLES DE CROISSANCE D'UNE POPULATION DE FILTREURS

C. Lobry et A. Sciandra

Station Zoologique URA 716  
BP 28 06230 Villefranche-sur-Mer

*A l'origine de cette note se trouvent des exposés au "séminaire du vendredi" de A. Chapelle et Cedric Bacher. Une collaboration est cours de développement, retardée par l'absence provisoire d'A. Chapelle.*

Les élevages d'huîtres sont souvent disposés en bancs séparés par des étendues d'eau libre. Le but de cette note est de proposer une stratégie de modélisation qui permette d'aborder de façon efficace les questions suivantes :

- Quelle proportion des sels nutritifs disponible dans une étendue d'eau donnée est il possible de transformer en huître ? En d'autres termes, pour une quantité donnée de sels nutritifs, quelle est la production maximale d'huître possible.
- Quel est le rôle de la structuration spatiale dans le fonctionnement du système ?

Un modèle réaliste d'un élevage d'huître comporte nécessairement un nombre très important de variables essentielles. Citons en quelques unes :

- Sels nutritifs disponibles (un paramètre minimum)
- Caractéristiques de croissance du phytoplancton (deux paramètres minimum)
- Caractéristiques de croissance des huîtres (deux paramètres minimum)
- Répartition spatiale (deux paramètres minimum)
- Caractéristiques du courant dans l'étendue d'eau (un paramètre minimum)

soit, au minimum huit paramètres. A supposer que le modèle fabriqué en intégrant toute la connaissance actuelle soit "exact" , nous disposerions de la possibilité de calculer, pour chaque jeu de paramètres, la quantité d'huître produite. Il "suffirait" alors, dans l'hypothèse où on serait intéressé par une production maximale, de "maximiser" cette fonction de huit variables ou plus. Cette possibilité reste tout à fait théorique dans la mesure où, dans l'ignorance ou nous sommes des propriétés qualitatives de la fonction en question, il n'existe pas de méthode algorithmique résolvant la question, dont on puisse garantir la fiabilité.

D'autre part l'observation à "l'oeil", des variations des trajectoires d'un système dépendant de huit paramètres est impossible.

La stratégie de recherche proposée ici est totalement différente. Nous allons poser les deux questions ci dessus sur des "élevages" au départ totalement idéalisés dont nous essayerons de comprendre les propriétés, puis nous allons compliquer progressivement les modèles pour tenter de nous rapprocher de situations plus réalistes.

Pour commencer nous prendrons une espèce de phytoplancton idéale, de caractéristiques simples et fixées une fois pour toutes. Nous supposerons que sa croissance obéit à la loi la plus simple possible, nous ferons de même pour le filtreur et nous examinerons les conditions de croissance en milieu homogène .

Ensuite nous simulerons l'hétérogénéité spatiale en mettant les filtreurs dans deux milieux différents, communiquant entre eux.

Enfin nous prendrons en compte les effets du cycle jour nuit, de la présence d'une chaîne de recyclage de la matière organique morte en sels minéraux, de l'existence de chaînes alimentaires concurrentes, etc.....

Les modèles seront étudiés de la façon suivante: Ils seront mis sous la forme mathématique la plus simple possible. On cherchera toutes les propriétés de ces modèles pouvant être obtenues au prix d'un effort mathématique minime; les propriétés obtenues serviront à orienter le choix des simulations numériques. Aucune propriété fine (disposition d'éventuels cycles limite, valeurs de bifurcation des paramètres etc....) des modèles ne sera examinée à ce stade. Les arguments mathématiques seront souvent "approximatifs" et serviront uniquement de guide à la simulation.

### **Résultats actuels**

L'analyse montre que dans un système à un bac (correspondant à une population répartie de façon homogène), pour transformer en huître, la totalité de la ressource disponible on obtient un système instable dans lequel, à tout moment, la population de phytoplancton risque de disparaître. L'analyse montre également comment cette instabilité est reliée aux paramètres définissant les capacités de filtrage de l'huître.

Dans un système à deux bacs, où un des bacs ne contient pas d'huîtres, il n'est pas possible d'obtenir un aussi bon rendement que dans le cas d'une répartition homogène, mais l'équilibre devient stable. Le bac ne contenant pas d'huître constituant un "refuge" pour le phytoplancton dont la persistance n'est plus menacée, quelle que soit la pression de prédation exercée par les huîtres.

**Une illustration du problème de traduction des gains de productivité en gains de rentabilité dans l'activité chalutière**

**LE FLOC'H Pascal - Doctorant ENSAR  
BOUDE Jean-Pierre - Professeur ENSAR  
DAURES Fabienne - Doctorante ENSAR**

## **I - INTRODUCTION**

La non-compatibilité souvent observée entre productivité et rentabilité repose sur la formation et la répartition du surplus de productivité d'une part, et sur la capacité de financement de nouveaux équipements d'autre part. Dans cet article, nous nous proposons de recenser et d'évaluer les éléments susceptibles de faire diverger la mesure des deux indicateurs de performance des stratégies mises en oeuvre par les entreprises de pêche.

## **II - MATERIEL ET METHODES**

### **II-1 - Les aspects théoriques de la divergence entre productivité et rentabilité**

On retient cinq principaux facteurs à l'origine des différences entre gains de productivité et gains de rentabilité.

***Les facteurs générant des gains de productivité supérieurs aux gains de rentabilité :***

- ①- Différences de salaires
- ②- Coût de réalisation des marchandises

Les différences de salaire et le coût de réalisation des marchandises peuvent provoquer des écarts importants entre les deux indicateurs, principalement lorsque l'objectif de productivité ne permet pas aux armements de déterminer la taille optimale de rentabilité de leur navire.

***Les facteurs générant des gains de rentabilité supérieurs aux gains de productivité:***

- ③- Pouvoir de marché
- ④- Effets de différenciation

Lorsque l'efficacité productive d'un secteur laisse apparaître de fortes différences avec la rentabilité de ce même secteur, il existe alors une marge importante pour une politique de prix afin d'éviter une érosion des profits. Le pouvoir de marché et les effets de différenciation d'une entreprise manifestent un intérêt marqué de la firme pour dégager de son activité une capacité financière plus élevée que celle de ses concurrentes.

*Le facteur générant une indécision sur la supériorité entre productivité et rentabilité*

●-La capacité de financement des investissements technologiques

La traduction des gains de productivité en gains de rentabilité passe par la recherche d'une capacité de financement adaptée aux investissements technologiques portant sur le long terme.

## **II-2 - Les méthodes d'évaluation des gains de productivité et de rentabilité**

### **L'estimation des gains de productivité : l'application de la méthode des comptes de surplus de productivité**

La méthode des comptes de surplus vise principalement à mesurer la variation de la productivité globale d'une entreprise entre deux exercices successifs afin d'évaluer la contribution de chaque moyen de production aux gains ou aux pertes de productivité engendrés par la firme.

Le travail consiste à décomposer chaque produit et chaque facteur de production en volume et en prix à partir de la relation suivante,

$\text{Somme des avantages octroyés} = \text{Avantages allant aux facteurs} + \text{Avantages allant à la clientèle}$
---

### **L'estimation des gains de rentabilité : la construction de trois ratios**

L'étape finale de notre travail nous conduit à l'estimation de trois indicateurs de rentabilité afin de poursuivre l'analyse comparative des résultats obtenus par les deux armements.

### Le taux de rentabilité économique des immobilisations

Le rapport de l'Excédent brut d'exploitation (EBE), c'est à dire le profit réalisé par l'entreprise après déduction des impôts, des taxes et des charges salariales, et de l'addition éventuelle de subventions d'exploitation, au montant des immobilisations brutes (figurant dans le poste des immobilisations corporelles du bilan) nous renseigne sur le rendement du capital productif.

$$\text{EBE} / \text{Immobilisations brutes}$$

### Le taux de rentabilité financière

L'étude du rôle de l'endettement au sein d'une firme permet de déterminer la capacité de financement de nouveaux investissements (frais financiers, F et capitaux propres, CP) :

$$( \text{EBE} - \text{FF} ) / \text{CP}$$

### Le taux de rentabilité du capital avancé

Ce troisième indicateur nous sert à vérifier d'une part l'importance de la vitesse de rotation du capital circulant (r) dont la durée de vie reste inférieure à l'année (consommations intermédiaires, CI, et salaires, S), et celle du capital fixe (immobilisations nettes, K) :

$$\text{EBE} / ( \text{K} + ( \text{CI} + \text{S} ) / \text{r} )$$

## III - RESULTATS

### La construction des comptes de surplus de productivité

En comparant les résultats des exercices de 1990 et 1991 de deux armements possédant des navires de même caractéristiques (navires industriels de 55 mètres), nous obtenons une estimation de la capacité d'adaptation de chacune de ces entreprises à l'égard de leur environnement économique.

#### Balance des échanges de 1990 à 1991 de l'armement 1

<u>Apports perçus par l'armement</u>	<u>Avantages répartis par l'armement</u>
Clients 11862	Fournisseurs Matières 332
SPG 663	Fournisseurs Services 303
	Etat 62
	Marins 4004
	Propriétaire 7824
<b>Solde 12525</b>	<b>Solde 12525</b>

Cet armement a enregistré un gain de productivité de 663 milliers de francs entre les deux exercices. Cette situation révèle apparemment une combinaison plus efficiente des inputs, profitant notamment aux partenaires de l'entreprise ainsi qu'aux acteurs directs (marins et propriétaires).

#### Balance des échanges de 1990 à 1991 de l'armement 2

<u>Apports perçus par l'armement</u>	<u>Avantages répartis par l'armement</u>
Marins 1523	Clients 12636
Propriétaire 5226	Fournisseurs Matières 287
SPG 6485	Fournisseurs Services 257
	Etat 54
Solde 13234	Solde 13234

L'analyse des comptes de surplus fait apparaître un gain de productivité nettement plus important pour ce second armement, soit 6485 milliers de francs. Or, la décomposition par produit et par facteur illustre la forte ponction imposée aux équipages des navires (1523 KF) ainsi qu'aux actionnaires-propriétaires (5226 KF).

#### L'analyse comparative des indicateurs de rentabilité

##### Le taux de rentabilité économique des immobilisations

On observe au premier abord une plus grande constance dans les résultats de la première entreprise. En revanche, le second armement connaît d'importantes fluctuations, ce qui laisse supposer une dégradation de la rentabilité de ses navires puisque celle-ci chute de 22,9 % à 4,25 % en 1991.

##### Le taux de rentabilité financière

La première entreprise possède des moyens plus importants pour acquérir de nouveaux matériels. On peut penser qu'elle reçoit davantage de capitaux propres et qu'elle utilise la technique de l'amortissement dégressif. Mais ce qui ressort nettement de cette comparaison, c'est la plus grande régularité du premier armement dans la gestion de ces actifs.

### Le taux de rentabilité du capital avancé

La gestion plus équilibrée de ses unités de pêche ainsi que de ses capacités de financement amène le premier armement à engager davantage de capital fixe et de capital circulant dans les cycles d'exploitation et ce, d'une manière régulière sur les deux années étudiées. Le second armement a entrepris une politique de radicalisation en 1991, l'obligeant à investir massivement lors des cycles de production. Pour cette raison, les différents indicateurs estimés marquent un renversement de tendance entre les deux exercices.

### IV - DISCUSSION

L'obtention de gains de productivité ne semble donc pas une condition suffisante pour justifier le rôle déterminant des équipements techniques (anciens ou nouveaux) dans la combinaison des facteurs de production. Au contraire, la décomposition des facteurs et des produits en termes de volume et de prix montre qu'une entreprise en difficulté financière choisit spontanément une sortie "vers le bas" (baisse des rémunérations salariales).

#### Bibliographie :

**Abgrall J-F., Congar R.,** "La nécessité d'un système statistique intégré pour l'évaluation des résultats économiques de la pêche maritime : les gains de productivité des chalutiers français en Manche et des chalutiers et cordiers du Québec", *Revue des Travaux des Institutions des Pêches Maritimes*, 1986, n°48 (3 et 4), p177-200.

**Boude J-P., Guillotreau P.,** "La formation de la productivité et la répartition des surplus de productivité dans le cas d'une flottille artisanale", ENSA, Unité Halieutique, 1993.

**Cette G., Szpiro D.,** "Rentabilité, productivité et taille de l'entreprise : dans la plupart des secteurs, une même taille optimale pour être productive et rentable", *Economie et Statistique*, n°251, février 1992.

**Chapron J-E., Geffroy Y.,** "La productivité globale dans l'entreprise - Mesure et Répartition", C.E.R.C., Les Editions d'Organisation, 1987.

**Guillotreau P., Boude J-P.,** "Analyse économique de la flottille de Pêche Industrielle de Bretagne-Sud", ENSAR, 1993.

**Proposition de communication pour le deuxième forum halieumétrique  
Nantes 26-28 juin 1995**

Bruno Romagny <sup>1</sup> et Claude Lobry

**Variations autour de la modélisation de la "tragédie du libre accès" aux ressources naturelles renouvelables : à la recherche d'un autre cadre conceptuel que celui du "dilemme du prisonnier"**

**Introduction**

Les économistes se sont intéressés depuis longtemps aux problèmes relatifs aux effets des régimes de droits de propriété sur les conditions d'une utilisation rationnelle et viable à long terme des ressources renouvelables. Parmi celles-ci, les ressources halieutiques, les forêts naturelles, les pâturages, les ressources en eau et les systèmes d'irrigation constituent les exemples les plus significatifs des ressources naturelles considérées comme étant exploitées généralement en "propriété commune" ou en copropriété.

Cependant, le terme "commun", associé à l'utilisation et à l'appropriation par l'homme de ressources produites et reproduites par la nature, reste très flou car il a été employé, tant dans la littérature scientifique que dans les débats publics, pour caractériser des situations extrêmement différentes. Ainsi, en dehors des véritables cas d'accès libre (absence de propriété), c'est à dire lorsque les ressources sont exploitées librement, sans aucun contrôle, l'inévitable "tragédie des communaux" relève certainement d'une analyse peu précise, mais aussi d'un abus dans l'utilisation d'un concept scientifique mal explicité, parfois présenté comme un slogan ou une prophétie.

Après avoir dans un premier temps exposé brièvement la naissance et la diffusion du paradigme dominant en matière de gestion des ressources communes, ainsi que sa formalisation traditionnelle standard par la théorie des jeux et notamment par le jeu dit du "dilemme du prisonnier", à un coup ou répété, nous présenterons dans un deuxième temps une structure formelle différente <sup>2</sup> pour analyser des phénomènes de type "tragédie des communaux". Nous démontrerons alors qu'il est extrêmement hasardeux de tirer des conclusions normatives, en termes de solutions simplistes basées sur la "privatisation" ou la "nationalisation" des communaux, à partir d'une représentation traditionnelle sous la forme d'une matrice 2 X 2, fondée de façon ad hoc sur la logique du dilemme du prisonnier. L'incertitude des acteurs vis à vis des allures possibles de la fonction de "production biologique" du champ (inconnue et non

---

1 Allocataire de recherche-Moniteur (C.E.M.A.F.I.), Centre d'Etudes en Macroéconomie et Finance Internationale. Faculté de Droit, des Sciences Economiques et de Gestion. Université de Nice Sophia-Antipolis, 7 avenue Robert-Schuman, 06 050 Nice Cédex. E mail : romagny@math.unice.fr

2 Ce modèle est issu d'un travail commun mené avec Claude Lobry, professeur de mathématiques à la faculté des Sciences de l'université de Nice Sophia-Antipolis.

observable ou non mesurable ex ante) et la variabilité inhérente à de telles fonctions d'une période sur l'autre, doivent inciter les modélisateurs et les décideurs à la plus grande prudence, avant de se lancer dans des solutions à la "tragédie des communaux", dont les effets négatifs parfois mal évalués, pourraient conduire les hommes et les milieux naturels qu'ils exploitent à des situations irréversibles.

## **I) Naissance, diffusion et formalisation standard du paradigme des communaux**

### **I.1) Naissance et diffusion du paradigme des communaux**

Souvent peu étudiée ou mal comprise par les économistes, bien que très fréquente par le passé, la notion de ressource ou de propriété commune a du mal à se faire une place entre les deux principaux cadres théoriques de référence en matière de régimes de droits de propriété des ressources naturelles : la propriété privée et le contrôle étatique. Les choix tant théoriques que politiques vont souvent dans le sens de cette alternative hégémonique. Ainsi en matière de pêche par exemple, les principaux outils de régulation de l'effort de pêche (quotas globaux ou individuels, taxes, subventions, permis etc.) supposent implicitement qu'un individu, une entreprise, une institution, ou un Etat soient réellement ou virtuellement propriétaires de la ressource. Le développement depuis une vingtaine d'années des Zones Economiques Exclusives, espaces à forte résonance économique qui confèrent des droits souverains aux états côtiers sur une bande de 200 milles, notamment pour l'exploration, l'exploitation, la conservation et la gestion des ressources biologiques ou non, est symptomatique de cette vision du problème.

Selon un récent rapport de l'O.C.D.E. : "La plupart des stocks [des pays membres de l'O.C.D.E.] sont surexploités du fait que les mesures de gestion traditionnelles appliquées durant la dernière décennie se sont révélées insuffisantes pour venir à bout du problème. L'une des principales raisons de cet état de choses tient au fait que les ressources halieutiques ont toujours été considérées comme un bien commun, autrement dit que les pêcheurs individuels ne se sont pas sentis économiquement incités à conserver cette ressource. Les pêcheurs ont été en compétition les uns avec les autres pour obtenir une part aussi importante que possible de ce bien commun, ce qui a parfois conduit à la surexploitation des stocks et à la suppression de la rente"<sup>3</sup>. Une telle analyse de la situation des pêcheries et des causes de leur surexploitation puise directement son inspiration théorique dans le modèle bioéconomique, élaboré dans un cadre statique par H. S. Gordon, dès 1953, plus connu par la suite sous le nom générique de modèle de Gordon-Schaefer. Cette vision ne remet absolument pas en cause la dichotomie simpliste, propriété privée versus gestion par l'Etat, qui semble pourtant bien mal adaptée pour traiter de problèmes où des interactions complexes entre des dynamiques biologiques et d'autres économiques et sociales coévoluent (au sens de R. Passet), à des pas de temps différents, dans un contexte de forte variabilité et d'incertitude radicale.

---

3 Source : *Examen des pêcheries dans les pays membres de l'O.C.D.E.*, 1993, O.C.D.E., Paris, p. 8.

Il existe ainsi un paradigme dominant en matière d'exploitation de ressources communes ou collectives, qui s'illustre très clairement à travers la célèbre "tragédie des communaux" analysée par G. Hardin. La parution de cet article dans la puissante revue américaine *Science*, il y a plus de vingt-cinq ans, a fait couler beaucoup d'encre, partisans et détracteurs s'opposant de façon parfois virulente. Néanmoins cet article a été, pendant cette période, et reste encore probablement un des plus cité au sein des travaux en sciences sociales.

Hardin a développé l'idée de "tragédie des communaux" afin d'illustrer sa thèse, proche de celle de Malthus, selon laquelle une liberté sans contrôle de faire des enfants apporte à long terme la ruine de tous sous la forme d'une explosion démographique, dans un monde par essence limité. Cependant, la "parabole" utilisée par Hardin dans son analyse s'intéresse à l'exploitation d'un pâturage communal ("Picture a pasture open to all", p. 1244), par les membres d'un hypothétique village. Le comportement rationnel de chaque berger ou éleveur de la "communauté", ignorant dans leur calcul économique les effets externes négatifs qu'ils occasionnent à l'environnement et aux autres bergers, provoquera l'inévitable tragédie du surpâturage et la ruine des utilisateurs de la ressource. Ainsi dès le point de départ de sa démonstration, Hardin identifie, sans aucune justification préalable, la propriété commune au libre accès. Il s'agit là de l'un des points les plus critiquables et critiqués de son analyse.

Venant en apparence contredire l'idée de "main invisible" développée par A. Smith, les décisions rationnelles du point de vue individuel peuvent produire des résultats peu souhaitables du point de vue collectif. C'est en cela que réside la "tragédie" : si les individus se mettaient d'accord pour coopérer en réduisant leurs troupeaux, leurs gains seraient alors supérieurs à ceux issus de leur comportement rationnel individuel, qui les conduit à choisir une solution non coopérative. On peut, sous des hypothèses restrictives, transférer la situation de la soi-disant "tragédie des communaux" au cas des pêcheries, essentiellement dans les pays du Nord, marquées par une longue tradition de libre accès.

## **I.2) La formalisation standard de la "tragédie des communaux" par le "dilemme du prisonnier"**

Une telle situation est traditionnellement illustrée par le jeu du "dilemme du prisonnier". Ce modèle d'interprétation très utilisé dans les travaux des économistes ou des sociologues des années soixante-dix, issu de la théorie des jeux, est un puissant outil permettant de représenter les points communs à un ensemble de problèmes tels que la "tragédie des communaux", ou plus généralement ce que l'on appelle les dilemmes sociaux. Un même formalisme est donc utilisé pour rendre compte de situations appartenant à des domaines très différents. Les caractéristiques du jeu sont les suivantes :

- ⇒ Jeu statique, à un coup ou répété ;
- ⇒ Jeu à deux ou N joueurs ;
- ⇒ Jeu à somme non nulle ;
- ⇒ Jeu non coopératif : chacun choisit sa propre stratégie sans connaître celle de l'autre (des autres) joueur (s) ;

⇒ Jeu à deux contrôles : faire (ajouter un animal)/ne pas faire, coopérer/faire cavalier seul...

L'exemple suivant, représenté sous forme matricielle, est issu de R. Axelrod (1984) : *The Evolution of Cooperation* <sup>4</sup>.

Joueur 1 : joueur de la colonne ; joueur 2 : joueur de la ligne

	<b>Coopérer</b>	<b>Cavalier seul</b>
<b>Coopérer</b>	<b>R = 3, R = 3</b>	<b>S = 0, T = 5</b>
<b>Cavalier seul</b>	<b>T = 5, S = 0</b>	<b>P = 1, P = 1</b>

R : "récompense pour la coopération mutuelle"

T : "tentation de l'égoïste"

S : "salaire de la dupe"

P : "punition de l'égoïste"

avec :  $T > R > P > S$  (hiérarchie des gains) et  $R > (S+T)/2$  (la récompense pour la coopération mutuelle rapporte plus que si les joueurs essaient de s'exploiter l'un l'autre, en moyenne).

Ainsi défini, ce jeu a une solution unique : quelle que soit la stratégie de l'autre (des autres) joueur(s), chacun a intérêt à faire cavalier seul. Une telle solution est un équilibre (stable) de Nash, c'est à dire qu'il résulte de choix individuels dont aucun joueur n'est incité à s'écarter de façon unilatérale. Tout changement de stratégie d'un joueur, les autres s'en tenant à la leur, ne lui apporte pas de gain supplémentaire.

Tragédie/Dilemme : la rationalité individuelle mène au pire résultat possible pour les joueurs. Si les (deux) joueurs coopèrent, ils s'en tirent mieux. La stratégie (R,R) est optimale au sens de Pareto.

Comment alors persuader un groupe d'individus rationnels, qui aspirent à un bien commun en l'absence de toute autorité centrale, aptes à optimiser leurs choix sous contraintes à court terme, qu'ils doivent coopérer et contribuer à des causes communes, souvent incertaines ? Quand un individu doit-il coopérer ou au contraire se montrer égoïste dans une interaction suivie avec une autre personne ? Un des outils analytiques privilégiés pour répondre à ce type de question est le "dilemme du prisonnier" répété.

On peut se reporter pour ces questions notamment aux travaux de R. Axelrod (1984) <sup>5</sup>, ou bien à ceux de M. Taylor (1976). Tous deux essaient d'analyser, à travers

4 Axelrod, R. (1984) : *The Evolution of Cooperation*. Basic Books, New York. Cet ouvrage a été traduit en français sous le titre : *Donnant Donnant. Théorie du comportement coopératif*. Odile Jacob, Paris, 1992, 224 p.

5 Une stratégie apparaît, selon Axelrod, comme dominante : celle dite "donnant-donnant" : on commence par coopérer au premier coup et aux coups suivants, on imite la stratégie de l'autre joueur au coup précédent. Néanmoins, les solutions d'équilibre de tels jeux répétés sont souvent multiples et se pose alors le problème du choix du "bon" équilibre, qui doit se faire souvent à l'extérieur du jeu.

l'étude du dilemme du prisonnier itéré, les conditions de l'émergence d'une coopération entre des individus confrontés à un bien public ou collectif, aux intérêts divergents mais pas forcément opposés.

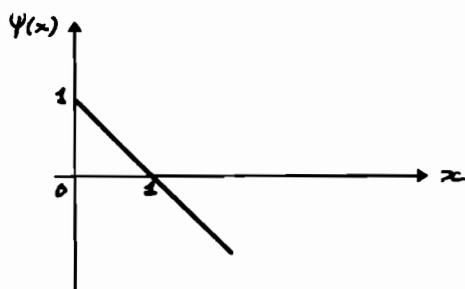
Une telle formalisation du problème, par un dilemme du prisonnier à un coup ou répété, semble en tout état de causes assez peu réaliste, la "défection" ou la coopération généralisées<sup>6</sup>, à toutes les étapes d'un jeu ou d'un processus, sont des phénomènes peu courants. La réalité est sans doute plus complexe. Les bergers ont par exemple une autre possibilité que de coopérer ou non, qui est de coopérer *partiellement* : on débouche ainsi sur la notion de *coalitions floues*, développée notamment par J. P. Aubin. Il semble donc nécessaire de rompre avec une telle formalisation du problème, sous la forme de matrices de gains données a priori et devant respecter certaines inégalités. Nous présenterons ainsi un modèle qui permet de calculer explicitement les valeurs de la matrice des gains, en fonction des différentes stratégies des acteurs, et selon les différentes allures possibles de la fonction de "rendement biologique". Le point de départ du modèle reprend l'exemple initial du pâturage communal, ouvert à tous, choisi par G. Hardin.

## II) Variations autour de la modélisation de la "tragédie" de l'accès libre

Soit  $x$ , la quantité en masse (biomasse) d'animaux sur le pré. Pendant une période (une année par exemple), le pré va "produire" une certaine quantité d'animaux qui dépendra de la fonction :

$$F(x) = x(1 + \psi(x))$$

où  $\psi(x)$  est une fonction qui indique l'accroissement en poids sur une période.



Par hypothèse  $\psi'(x) < 0$ . Une telle fonction traduit le fait que la ressource est fixe. La croissance sera forte quand il y a peu d'animaux. Plus  $x$  est grand et plus la croissance des animaux est faible, pour devenir négative quand  $x > 1$ .

L'optimum du pré  $x_0$ , sera tel que :  $F'(x_0) = 0$

---

<sup>6</sup> Par un raisonnement à rebours, on peut démontrer que la coopération (ou la défection) entre les acteurs est possible à chaque étape du jeu.

Notre démarche sera donc la suivante. On commence par se donner une allure "raisonnable" de la fonction  $\psi(x)$  et donc de  $F(x)$ . On calcule alors l'optimum du pré  $x_0$  et le gain associé à celui-ci ( $G_p(x) = x\psi(x)$ ). Si on fait l'hypothèse que deux bergers (B1 et B2) ont accès au champ, on peut alors formuler à leur égard une recommandation en terme de masse d'animaux à mettre sur le pré :

$x_1$  et  $x_2$  étant les quantités d'animaux mises respectivement par B1 et B2 sur le pré alors :

$$x_1 = x_2 = x_0 / 2$$

On peut ainsi calculer les gains individuels associés à  $x_1$  et  $x_2$ , si les deux bergers suivent la recommandation. Notre problème est alors de calculer les gains associés aux différentes stratégies des deux bergers :

⇒ Suivre la recommandation ;

⇒ Rechercher la meilleure "trahison" possible pour un des joueurs, si l'autre suit la recommandation.

En exprimant l'ensemble des résultats sous la formes de matrices de gains habituelles en théorie des jeux, nous montrerons alors que les valeurs qui sont dans ces matrices dépendent étroitement des allures que l'on peut donner à la fonction  $\psi(x)$  et donc de la réponse du champ à la pression humaine. Nous traiterons ainsi plusieurs cas qui soulignent que l'inévitable "tragédie" formalisée par le "dilemme du prisonnier" n'est pas un fait inéluctable.

## **Moralité**

L'analyse du jeu à deux joueurs sur un pré donne des matrices de gain et des conclusions totalement différentes selon les allures de la fonction de "rendement biologique" du pré. Comme cette fonction est :

- 1) Inconnue et non observable ;
- 2) Probablement variable d'une année sur l'autre,

l'utilisation d'une matrice 2 X 2, aux valeurs spécifiées de façon ad hoc, pour argumenter la "tragédie des communaux" paraît illusoire. Une argumentation sur des "allures variables" de la fonction  $\psi(x)$  paraît plus utile, mais reste cependant douteuse du fait des deux points que nous venons de souligner. En tout état de cause, le "dilemme du prisonnier" donne un cadre beaucoup trop restrictif et simpliste, pour servir de fondement scientifique à des politiques développées en vue de gérer de façon viable, par l'accès, des ressources renouvelables telles que les ressources halieutiques.

## **Bibliographie sommaire**

Axelrod, R. (1992) : *Donnant donnant. Théorie du comportement coopératif*. Odile Jacob, Paris, 224 p. Traduction française de *The Evolution of Cooperation*, Basic Books, New York, 1984.

Berkes, F., D. Feeny , B. J. McCay and J. M. Acheson (1989) : "The Benefits of the Commons". *Nature*, 340, p. 91-93.

Ciriacy-Wantrup, S. V. And R. C. Bishop (1975) : ""Common Property" as a Concept in Natural Resources Policy". *Natural Resources Journal*, 15, p. 713-727.

Gordon, H. S. (1953) : "An Economic Approach to the Optimum Utilisation of Fishery Resources". *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, 10 (7), p. 442-457.

Gordon, H. S. (1954) : "The Economic Theory of a Common Property Resource : the Fishery". *Journal of Political Economy*, 62, p. 124-142.

Guerrien, B. (1993) : "Théorie des jeux. Concepts, résultats, statut". *Communication au Séminaire d'Economie Théorique et Appliquée (SETA)*, CEMAFI, Nice.

Hardin, G. (1968) : "The Tragedy of the Commons". *Science*, 162, p. 1243-1248.

Taylor, M. (1976) : *Anarchy and Cooperation*. John Wiley & Sons, New York, 147 p.

# Simulation de l'exploitation artisanale sénégalaise

Jean Le Fur

Modélisateur halleute, Orstom, BP1386, Dakar, Sénégal

tel. (221).34.80.41, fax:(221) 32.43.07, Email:  
lefur@orstom.orstom.fr

## Introduction

L'exploitation halieutique artisanale sénégalaise constitue un domaine dont les dynamiques sont multiformes, s'expriment à plusieurs échelles et présentent de nombreuses fluctuations. L'activité de pêche repose d'abord sur une ressource renouvelable composite et variable dans l'espace et dans le temps. En termes économiques, de nombreuses dynamiques externes et internes interagissent à plusieurs échelles. La nécessaire maîtrise de ce système conduit en outre à des ajustements structurels et/ou conjoncturels de l'exploitation.

A la conjonction de ces sources de fluctuations, se situent les communautés humaines qui constituent l'exploitation (pêcheurs, mareyeurs). Ces communautés s'adaptent de façon multiple (techniques, comportements, interrelations, organisation, distribution) à ces environnements fluctuants. Lorsque des changements naturels ou anthropiques interviennent dans le système, les réponses de ces communautés peuvent alors conditionner l'épanouissement, le maintien, la dégradation ou l'extinction de l'exploitation.

Le travail présenté vise à décrire et modéliser la réponse de l'exploitation aux changements de son environnement (naturel, économique, social). Pour rendre compte de la multiplicité des sources de fluctuation et de leur interdépendance vis à vis de l'exploitation, ce problème a été abordé en essayant d'intégrer les composantes et les processus évoqués en un seul et même schéma.

Pour ce faire, nous avons tenté de représenter, au sein d'un même modèle, les relations existant entre les différents secteurs liés à l'exploitation tels que la production, la commercialisation, la consommation. Pour comprendre et représenter le fonctionnement de l'exploitation halieutique, ce projet intègre divers niveaux de connaissance tels que l'économique, le social, le technique. Enfin, de nouvelles méthodes de représentation informatique (Intelligence Artificielle) et de nouvelles approches en modélisation (Systémique) ont été adaptées aux spécificités du domaine halieutique. L'objectif opérationnel associé à cette problématique vise à mieux suggérer, à travers des jeux de simulation, quelles pourraient être les conséquences d'un changement (ex: mesure de gestion, fluctuation d'un stock, apparition d'un marché) sur la dynamique de l'ensemble de l'exploitation.

## Matériel et méthodes (modèle)

Un générateur de système expert dit "orienté objet" et "multi-agents" a été utilisé pour formaliser le modèle. L'ensemble de l'exploitation est considéré à travers une "approche système"<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>"L'approche système définit la pêche comme un ensemble d'éléments (poissons, pêcheurs, commerçants,...) liés entre eux par un réseau de relations. Par le biais de ces relations, les différentes composantes du système sont amenées à s'adapter les unes aux autres et à engendrer ainsi une

Une attention particulière a été portée à la représentation structurelle (organisation) du système: les environnements physiques (ex: zones de pêche, sites de débarquement), les marchés, les stocks de poissons, les usines, le matériel de même que les communautés de pêcheurs, de mareyeurs, de consommateurs sont individualisés sous la forme d'objets informatiques autonomes. Chaque objet est caractérisé par un jeu de variables qui définit son état à un instant donné. Ces objets sont organisés et mis en relation au sein d'un arbre hiérarchique informatique fonctionnel.

Les interactions entre les différents composants du système représenté sont organisées grâce à un "sous-modèle" représentant les processus de décision des acteurs humains. Dans ce sous-modèle, les choix des communautés dépendent (i) de leur environnement, (ii) de l'information qu'elles peuvent en obtenir (iii) de leurs objectifs (ex: pêcher, vendre) et (iv) de leurs caractères, leurs habitudes, leurs degrés de confiance dans les alternatives disponibles. Les choix réalisés par les communautés vont alors influencer sur les divers flux circulant entre les composants représentés (flux de poisson, d'argent, d'acteurs humains et d'information)<sup>2</sup>.

Dans un deuxième temps, l'ensemble de l'activité d'exploitation est représentée sous la forme de cycles temporels. Par exemple, le cycle d'activité des pêcheurs est formalisé par une succession de tâches liées aux choix, aux déplacements, à la pêche, à la vente. Cette activité est modulée en fonction des choix que réalisent les communautés (ex: choix d'un engin de pêche, choix d'un site de débarquement, acceptation d'un prix). Il en est de même pour l'activité des mareyeurs, des consommateurs et des industries. Ces différents cycles d'activité sont enfin mis en relation à travers un seul et même schéma. La mise en relation de ces divers cycles s'effectue au moyen d'un autre sous modèle, dit "de transaction". Dans cette procédure, les poissons sont convertis en argent et vice versa. Pour rendre compte de l'exploitation sénégalaise, ce sous-modèle simule un marchandage de gré à gré entre, selon les cas, pêcheurs, mareyeurs, consommateurs et usines.

## Résultats (simulateur)

De ce modèle résulte un simulateur informatique qui réalise à chaque pas de temps l'ensemble des cycles d'activité décrits (choix, action, transaction).

La structure modulaire du modèle permet d'aborder divers scénarios de simulation. Un scénario de simulation se définit par un jeu de données et un objectif de simulation. Il se caractérise par l'intervalle et le pas de temps choisi, les limites géographiques du système étudié, le niveau de détail connu des objets représentés, les types de composantes prise en compte (ex: pêche, commercialisation, consommation, ou ensemble de l'exploitation).

Pour un scénario donné, un protocole de simulation et d'observation peut être élaboré, divers indicateurs choisis et divers types de perturbations introduites:

- En fonction de l'objectif de la simulation, les structures ou les processus qui peuvent être suivis et éventuellement modifiés peuvent être des paramètres de commande (ex: prix de vente ou d'achat des espèces), des flux (ex: migrations de communautés), des distributions (ex: effectif des différentes zones), des états (ex: caractéristiques d'une communauté) ou des comportements (ex: processus de transaction). L'interface du simulateur

---

*organisation et une dynamique propre au système." (Quensière, J., 1993. De la modélisation halieutique à la gestion systémique des pêches. Natures, Sciences, Sociétés, 1993, 1(3): 211-219)*

<sup>2</sup>*La première application qui a été développée traite du processus de décision d'une communauté étudiée de pêcheurs sénégalais vis à vis du choix entre plusieurs options de pêche. En utilisant des données de terrain, dix ans d'activité de pêche, caractérisée par des changements de distribution entre les différentes communautés en présence ont été simulées avec succès (Le Fur, J., 1995 Modeling adaptive fishery activities facing fluctuating environments: an artificial intelligence approach. AI Applications in Natural Resources, Agriculture, and Environmental Science, vol.9, no1, 85-97).*

permet de même de préciser la forme sous laquelle elles seront exprimées (fluctuation instantanée, évolution temporelle, distribution spatiale, expression littérale).

- Pour simuler des changements, les structures et les mécanismes représentés peuvent être modifiés à l'échelle individuelle ou globale. Divers changements peuvent être ainsi abordés pour un scénario donné (ex: apparitions de flottille, d'espèce, de marché; modifications de rendement, de prix, de la consommation; changement d'habitude; taxes, subventions).

Un exemple de simulation est présenté portant sur le comportement et l'activité des communautés de l'exploitation sénégalaise face à divers types de changements et le suivi de ces effets à un niveau global (diagnostic sur la "santé" du système).

Le système (modélisé) ne peut encore satisfaire entièrement les objectifs liés à la problématique. Il serait par exemple nécessaire de prendre en compte le secteur de la transformation, certaines fluctuations saisonnières, les créations ou pertes d'emplois, une diversification plus importante du choix des acteurs (ex: changer d'espèce cible, investir dans de nouveaux équipements, explorer de nouvelles filières commerciales, etc.). Sur un autre plan, la calibration de ce modèle, bien que perfectible, apparaît difficile du fait de l'interdépendance des mécanismes représentés, du nombre important de paramètres pris en compte et des lacunes existant dans les données disponibles.

## **Discussion**

La méthodologie développée pour aborder cette problématique permet d'envisager l'étude de l'exploitation sous plusieurs angles et à travers divers types de problématiques (économie, sociologie, gestion) à partir d'un même cadre de simulation.

Le modèle est d'autre part défini sur une échelle structurelle locale (ex: communautés, véhicules, zone de pêche) et fonctionnelle locale (ex: processus de décision, transaction de gré à gré, déplacements, sortie de pêche). Il est ainsi apte à exprimer des dynamiques perceptibles de cette échelle à celle de l'exploitation entière.

Enfin, les informations produites sur le fonctionnement de l'exploitation, sur les interrelations existant entre ses différentes composantes permettent d'envisager l'étude de réponses globales concernant la réaction de l'exploitation au changement.

Dans les limites de sa validité, l'association scénario-modèle-simulateur se présente ainsi comme une exploitation virtuelle sur laquelle des changements peuvent être introduits et leurs conséquences observées sur diverses échelles spatiales, temporelles ou fonctionnelles.

# **HORS SESSION**

REPRESENTATIONS SIMULEES DE NOS CONNAISSANCES  
SUR UNE PECHERIE A LA SENNE TOURNANTE

par

Pierre PETITGAS

ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier, cedex 1  
tel: 67 41 94 00; fax: 67 41 94 30; e-mail: petitgas@orstom.orstom.fr

La présente étude est une expérience. On essaie de faire une synthèse entre différentes observations faites sur des données de campagnes acoustiques et sur une pêche artisanale à la senne tournante. Nous avons simulé librement des bancs et leur pêche. On étudie à biologie fixée si les indices calculés à partir des débarquements permettent d'effectuer l'inférence à la population naturelle. Les résultats éclairent les liens qu'entretiennent certains paramètres avec les stratégies de pêche, la structure spatiale des bancs et la biomasse totale.

## 1- OBSERVATIONS

### 1.1 Le poisson

Une relation intéressante a été mise en évidence (Marchal et Petitgas 1993) entre la répartition des bancs et des biomasses dans le Golfe de Cariaco, Vénézuéla. La biomasse était de jour presque exclusivement en bancs. Les bancs présentaient une structuration spatiale très nette alors que la biomasse par banc restait très erratique. De plus, un banc riche se révélait plus probable dans une zone riche en bancs. Ces caractéristiques donnent lieu à un modèle conceptuel de la répartition de la matière dans les bancs et des bancs dans l'espace. Différentes hypothèses simples de regroupements des bancs proches pourraient fournir une interprétation comportementales. Des résultats très similaires ont été retrouvés sur les données des campagnes acoustiques sénégalaises (Petitgas et Levenez 1995). Les bancs occupent l'espace avec une structure spatiale bien marquée et la densité n'a pas de relation simple avec les paramètres géométriques des échos.

On part donc du principe que la matière est répartie dans l'espace selon deux principes différents. Les bancs constituent une variable géométrique, ils possèdent une structuration spatiale qui est liée à l'occupation de l'habitat. La biomasse dans les bancs est une variable énergétique sans lien simple avec les bancs.

### 1.2 La pêche

Sur la Petite Côte du Sénégal (Mbour et Joal) des discussions informelles avec les enquêteurs et les pêcheurs ont permis de dégager les grandes lignes de la stratégie et des contraintes de la pêche à la senne tournante. La pêche s'effectue sur les bancs de surface identifiés par les pêcheurs. La durée des sorties est limitée. Chaque sortie dure environ de 6 à 10 heures et la vente s'effectue à la rentrée des pirogues. On a identifié des contraintes et une stratégie.

Les contraintes sont surtout relatives à la durée limitée de la sortie et à la capacité de charge des pirogues. Chaque sortie de pirogue peut être référencée à une plage et la pêche d'une sortie est vendue le jour même. La durée de la sortie est limitée car la vente a lieu pendant une tranche horaire déterminée qui définit l'heure de rentrée. L'heure de départ est libre. Par exemple pendant la saison des pêches de jour, une pirogue sortie le matin devra rentrer le soir avant 20h pour vendre sa pêche à un prix raisonnable. La capacité de charge d'une pirogue est évidemment liée à sa taille mais aussi à la puissance du moteur. Comme la pirogue doit rentrer pour une heure donnée, si elle va loin et qu'elle est chargée, elle peut ne pas avoir le temps de rentrer à temps si son moteur n'est pas assez fort. La puissance motrice est liée à: (i) la vitesse de déplacement (recherche de bancs, efficacité de capture), (ii) la capacité de charge (taille de la pirogue, vitesse de déplacement en charge). (remarque: au moment de nos enquêtes-discussions, l'utilisation de pirogues porteuses était peu courante suite à la dévaluation du CFA qui rendait d'après les pêcheurs les coûts d'exploitation trop onéreux). La taille des sennes est certainement en relation avec la puissance motrice, la taille de la pirogue et la biomasse moyenne des bancs ou leur comportement de nage.

On sait que les pêcheurs voient les bancs en surface, qu'ils estiment leur biomasse et l'espèce. Par contre, l'élaboration de la décision de pêcher un banc qui a été repéré n'est pas bien connue. Pendant la saison froide de 1994, de grosses quantités de sardines ont été débarquées. Une enquête limitée a montré qu'après une période d'adaptation, les pêcheurs savaient reconnaître les bancs de cette espèce (comportement du banc et trace phosphorescente la nuit en surface). Ils ne les pêchaient alors qu'en dernier recours. Nous résumons la prise de décision de la manière suivante. Les pêcheurs sortent en mer avec une espérance, ils se fixent donc au départ comme un contrat à remplir. Pendant la sortie, ils rencontrent des bancs de taille différentes et d'espèces différentes. Ils choisissent leurs bancs en fonction de leur contrat, des bancs qu'ils rencontrent et de l'heure à laquelle ils les rencontrent. Par exemple, imaginons un pêcheur qui sort en mer avec l'idée qu'il lui est possible de remplir toute sa pirogue en ne faisant qu'un seul gros coup. En début de marée, il va essayer de trouver un gros banc. Mais si il n'en trouve pas, devant rentrer vers 19h, il va abaisser son seuil et accepter des bancs plus petits. Si le pêcheur ne trouve pas ce qu'il cherche, il est forcé de diminuer ses exigences de façon à ne pas rentrer bredouille.

## 2- SIMULATIONS

On simule un processus ponctuel représentant les bancs dans l'espace. Puis, sur une réalisation figée, on simule la pêche des bancs par les pirogues. Simuler les bancs puis la pêche correspond à simuler une sortie de pêche. On répète l'opération un grand nombre de fois.

### 2.1 Les bancs

Les bancs sont simulés en utilisant un processus de Cox (1955) dont le potentiel est spatialement structuré. La probabilité de présence des bancs n'est pas la même en chaque lieu. Selon de nombreux paramètres d'environnement, certaines zones sont potentiellement plus

riches que d'autres et la probabilité de présence des bancs possède donc une certaine structure spatiale. Appelons potentiel  $\mathcal{G}(x)$  cette probabilité. On représente le potentiel par une fonction aléatoire stationnaire possédant un variogramme structuré. Le nombre de bancs en chaque point  $x$  est ensuite tiré selon une loi de Poisson de paramètre  $\mathcal{G}(x)$ . Lantuéjoul et Kleingeld (\*\*\*) ont utilisé ce modèle pour représenter la distribution spatiale de pierre de diamants dans un gisement sédimentaire.

La simulation de la distribution spatiale du potentiel  $\mathcal{G}(x)$  est réalisée par la méthode des bandes tournantes proposée par Matheron (1973). C'est une méthode issue de la stéréologie qui permet de réduire une simulation à 3 dimensions (3D) à des simulations à 1 dimension (1D). En effet, la covariance 3D d'une fonction aléatoire stationnaire est en relation simple avec la covariance 1D le long de droites de l'espace 3D. Il est alors facile de simuler un processus sur des droites avec une covariance appropriée qui permette de construire la covariance voulue à 3D. En chaque point  $x$  de la grille à simuler, on forme la valeur simulée  $z$ :  $z = (y_1 + \dots + y_n) / \sqrt{n}$ .  $y_i$  est la valeur simulée sur la droite  $i$  et  $n$  est le nombre de droites. Les valeurs  $y$  étant indépendantes et identiquement distribuées, la loi de  $z$  tend rapidement vers une multigaussienne quand  $n$  augmente. Lantuéjoul (1994) donne un nouvel algorithme qui a deux avantages par rapport à celui proposé par Journel et Huijbregts (1978). D'une part le nombre  $n$  de droites n'est plus limité et d'autre part, il n'y a plus de discrétisation le long des droites pour générer les valeurs  $y$ . C'est cet algorithme que nous avons utilisé. Comme on ne s'intéresse qu'à une image 2D, la grille que nous avons simulée est située sur un plan, par exemple le plan horizontal d'altitude zéro.

La grille simulée est un carré comprenant  $n^2$  mailles unitaires. L'unité de distance est la maille. On a simulé des variogrammes sphériques, en prenant le long des droites la méthode de de partition (Lantuéjoul, 1994). Les valeurs gaussiennes simulées sont ensuite exponentiées de façon à générer un potentiel dont la loi soit disymétrique. On simule le potentiel  $\mathcal{G}(x)$  avec trois paramètres d'entrée: la portée du variogramme de la gaussienne, la moyenne du potentiel lognormal et sa variance. La taille des agrégats à fort potentiel est liée à la portée du variogramme et le nombre de cases vides est lié à la variance du potentiel.

Pour chaque case  $x$  de la grille on a une valeur simulée du potentiel  $\mathcal{G}(x)$ . Le nombre de bancs pour la case  $x$  est tirée sur la loi de Poisson dont le paramètre est  $\mathcal{G}(x)$ . Les bancs sont ensuite répartis uniformément à l'intérieur de la case (tirage uniforme des abscisses et ordonnées).

Une fois simulées les positions des bancs, pour chaque banc on tire maintenant une valeur de biomasse sur une loi lognormale dont la moyenne et la variance sont des paramètres d'entrée. Dans les cases riches en bancs, comme le nombre de tirage est plus important, il y a plus de chance de tirer une forte valeur de biomasse. Mais des bancs seuls peuvent aussi être riche. L'indépendance entre les variables biomasse par banc et nombre de banc par case, suffit pour reproduire le fait que dans les zones riches en bancs il y ait en moyenne des gros bancs. Toutefois, si les zones pauvres en bancs totalisent un nombre de bancs supérieur à celles des zones riches en bancs ce qui se produit si la variance du potentiel est faible, il y aura plus de bancs riches en totalité dans les zones pauvres. Cette situation donne l'image d'une biomasse cachée statistiquement tellement la matière est dispersée.

Dans le processus de Cox à potentiel spatialement structuré, il y a un paramètre d'échelle qui est la taille de la maille par rapport à la dimension du champ. Plus la maille est grande, plus la distribution spatiale tend vers une répartition homogène.

## 2.2 Les pirogues

Le champ simulé des bancs est désormais continu car on dispose des positions de bancs. Les pirogues s'y déplacent de façon continue et pas sur une grille. Mais le temps s'écoule de façon discrète et l'unité de temps est une durée élémentaire  $\Delta u$ .

Chaque pirogue possède des paramètres et des fonctions. Ses paramètres sont: capacité de charge ( $CP$ ), capacité de la senne ( $CS$ ), seuil de biomasse par banc à partir duquel la pirogue pêche ( $SB$ ), champ de vision défini comme un disque centré sur la pirogue ( $RU$ ), distance élémentaire de déplacement pendant  $\Delta u$  ( $DU$ ), durée d'un coup de senne ( $TP$ ), durée de la marée ( $TM$ ). Les fonctions d'une pirogue sont: se déplacer en faisant route, se déplacer sur zone, voir les bancs et en choisir un, décider de pêcher ou non le banc choisi, pêcher le banc. Pour chaque pirogue individuellement, la sortie s'achève soit si la pirogue est pleine soit si la durée de la marée est atteinte.

A chaque pas de temps  $\Delta u$ , la pirogue se déplace avec un déplacement de route et elle regarde dans son champ de vision. Soit  $B_b$  la biomasse du banc que la pirogue s'apprête à pêcher. Si  $B_b \leq CS$ , on a considéré que la totalité du banc était pêchée. Si  $B_b > CS$ , on a considéré que seul  $CS$  était pêché. Les bancs pêchés, totalement ou non sont retirés de la simulation et ne sont plus accessibles à la pêche. On a considéré que la pêche d'un banc durait un temps fixe,  $TP$ , indépendant de la biomasse du banc. La pirogue en pêche reste sur la position du banc pendant la durée  $TP * \Delta u$ .

La stratégie d'une pirogue est définie par 3 paramètres,  $ST_i$  ( $i=1,3$ ). Ces paramètres décrivent le choix du banc quand plusieurs bancs sont vus, la décision de pêcher le banc choisi et la conséquence de cette pêche sur la route ultérieure à suivre. Premièrement, quand plusieurs bancs sont présents dans le champ de vision, soit la pirogue s'intéresse au banc le plus proche ( $ST_1=0$ ) soit elle s'intéresse au banc le plus gros ( $ST_1=1$ ). Deuxièmement, soit le banc retenu lors de l'étape précédente est pêché quelque soit sa biomasse ( $ST_2=0$ ), soit la décision de pêche n'a lieu qu'après calcul d'une fonction de décision ( $ST_2=1$ ). Troisièmement, soit après la pêche du banc la pirogue garde un déplacement de route ( $ST_3=0$ ), soit elle a un déplacement sur zone ( $ST_3=1$  ou  $2$ ). Ce dernier cas formule l'idée que le pêcheur sait que dans les environs d'une pêche, il y a une autre pêche possible. La pirogue peut se déplacer sur zone aux environs de sa dernière pêche pendant une durée fixe ( $ST_3=1$ ). Elle peut aussi avoir une connaissance de la structure spatiale des bancs et se déplacer sur zone un temps  $TP = \tau$  tel que  $\tau * DU$  corresponde à la portée du variogramme du potentiel ( $ST_3=2$ ). La stratégie de vecteur nul,  $ST=(0,0,0)$ , est le témoin: la pirogue parcourt le champ et pêche ce qu'elle rencontre sans stratégie.

Le contrat que se donne le pêcheur est formulé par le seuil  $SB$ : il sait qu'il peut pêcher des bancs de biomasse supérieure à  $SB$  et il va donc essayer de le faire. La fonction de décision de pêche est la suivante. Si la biomasse du banc est supérieure au seuil  $SB$  alors il y a pêche du banc. Si la biomasse est inférieure, alors il y a décision. Soit  $t$  le temps présent et soit  $Q(t)$  la quantité pêchée entre  $0$  et  $t$ . Le nombre de coup maximum encore possible est  $n(t)=(TM-t)/TP$ . Pour remplir totalement la pirogue avant la fin de la marée, il faut pêcher la quantité  $R(t)=CP-$

$Q(t)$ . Le nouveau seuil à partir duquel la pirogue va accepter de pêcher le banc est  $S(t)=R(t)/n(t)$ . Cette fonction simple de remise à jour du seuil de pêche permet de formuler le fait que plus le temps de fin de marée approche et moins la pirogue a pêché, plus elle va accepter de pêcher de petits bancs. La valeur de  $SB$  fait partie de la stratégie car elle formule une connaissance du milieu que peut avoir le pêcheur.

Deux types de déplacements ont été définis, déplacement de route et déplacement sur zone. Dans le déplacement de route, la pirogue se déplace dans une direction privilégiée sans retour en arrière: au départ, une direction  $d$  est tirée au hasard entre  $0$  et  $\pi$ , uniformément; puis à chaque pas de temps, une direction est tirée entre  $d \pm \pi/4$ . Dans le déplacement sur zone, la pirogue ne se déplace plus dans une direction privilégiée: à chaque pas de temps la direction  $d$  est tirée entre  $0$  et  $\pi$ .

Chaque pirogue possède un carnet de pêche qui est remis à jour à chaque pêche. On peut donc savoir à la fin de la sortie, la quantité totale pêchée, le nombre de coups de senne effectués, l'heure et le lieu des pêches, la biomasse des bancs pêchés.

Sur une simulation de bancs, un certain nombre de pirogues pêchent. Elles se déplacent et pêchent indépendamment les unes des autres. On considère que le champ simulé correspond à la zone de pêche et les temps de route de la plage à cette zone sont omis. La période de pêche sur le champ simulé dure au maximum  $100\Delta u$ . Chaque banc pêché est retiré de la simulation. Chaque pirogue pleine avant la durée maximum de la sortie est retirée de la simulation.

### 3- RESULTATS

On fixe les paramètres biologiques. A chaque simulation biologique, on fait pêcher un certain nombre de pirogues. Ceci représente, disons, un jour de pêche. On effectue un certain nombre de simulations sur lesquelles pêchent les pirogues. On calcule ensuite pour toutes les pirogues sur toutes les simulations, la moyenne de différents indices de la pêche, comme par exemple la prise par coup de senne. On étudie comment varie ces indices quand on fait varier les paramètres biologiques de départ. Dans les expériences effectuées, certains paramètres d'entrée sont constants.

Les paramètres constant sont les suivants. La grille sur laquelle est simulée le potentiel est un carré de  $40 \times 40$  mailles. 400 droites sont utilisées. Le coefficient de variation de la biomasse par banc est pris constant ( $CV_b=3$ ). Il est assez fort car la loi de la biomasse par banc est dans la réalité toujours très disymétrique. Toutes les pirogues ont les mêmes caractéristiques. On a pris les valeurs suivantes:  $CP=CS=20T$ ;  $DU=RU=0.6$ ;  $TM=100$ ;  $TP=10$ . La valeur de  $DU$  est choisie pour que dans une marée, une pirogue puisse traverser le champ en diagonal. La valeur de  $TP$  est compatible avec la moyenne du nombre maximum de coup observé dans la pêcherie. Les capacités de  $20T$  sont compatibles avec la taille observée des pirogues et des sennes dans la pêcherie. Chaque expérience est constituée de 20 simulations et le nombre de pirogues est toujours de 10.

Les autres paramètres d'entrée permettent de mener des expériences différentes en modifiant la structure spatiale du potentiel, la biomasse moyenne par banc et le potentiel moyen par case. On a fait varier aussi le seuil de pêche  $SB$ . Le nombre total de bancs sur le champ,  $N$ , est une variable aléatoire. Or nous aimerions que les simulations d'une même expérience aient un même nombre total de bancs. Lorsqu'une simulation montrait un nombre total de bancs en

dehors de l'intervalle  $N \pm 10\%$ , la simulation était rejetée et une autre effectuée jusqu'à obtenir un total de banc dans l'intervalle souhaité.

On a pris trois situations biologiques (Tableau 1). Le cas 1 représente une situation de biomasse abondante: la structure spatiale est longue, le nombre de bancs est grand, la variance du potentiel n'est pas élevée et les bancs sont de taille moyenne. Le cas 2 correspond à l'opposé du cas 1 et représente une situation où la biomasse est faible: la structure spatiale est courte, le nombre de bancs est faible, la variance du potentiel est forte, les bancs sont petits. Dans le cas 3, la biomasse est la même que dans le cas 1 mais sa répartition spatiale dans les bancs est différente: la structure spatiale est courte, le nombre de banc est faible, la variance du potentiel est forte mais les bancs sont gros.

Les Figures 1 et 2 montrent une simulation du cas 1 et du cas 2 avec les trajets des pirogues. On voit que la distribution spatiale de la biomasse par case suit à peu près celle du nombre de bancs par case mais pas tout à fait car il y a des bancs riches solitaires. Les résultats des pêches simulées sont consignés dans le Tableau 2. On peut lire le tableau en comparant les lignes entre elles (sections 3.1 à 3.3) ou les colonnes entre elles (section 3.4).

Le vecteur de stratégie retenu est (0,1,2): la pirogue va sur le banc le plus proche, elle pêche le banc après calcul d'une fonction de décision, après la pêche elle recherche des bancs sur zone pendant un temps compatible avec la taille des structures spatiales. A cette stratégie d'action en mer, on a ajouté une connaissance que le pêcheur a sur la biologie: le seuil de pêche  $SB$  représente la taille de gros bancs qu'il pense pouvoir pêcher. Lors de la simulation des bancs, on calcule la fréquence des cases contenant au moins un banc de biomasse supérieure à  $SB$ . Dans chacune des situations biologiques, le seuil  $SB$  utilisé est tel que 1% des cases contiennent au moins un banc supérieur au seuil.

### 3.1 Comparaison des pêches sans et avec stratégie:

Dans tous les cas, la stratégie induit une diminution du nombre de coups de senne, une augmentation de la prise par calée, une diminution du temps de marée et une augmentation du temps de recherche. Le choix des plus gros bancs s'avère rentable car moins de bancs sont pêchés et la marée est plus courte. Il est assez remarquable que le taux de remplissage des pirogues (i.e. quantité débarquée) soit assez peu influencé par l'application d'une stratégie et que la prise par temps de mer non plus. Ce résultat nous semble lié à la saturation des sennes et des pirogues.

### 3.2 Comparaison des pêches sur les biologies 1 et 3:

Dans les 2 cas, la même biomasse est présente mais elle est structurée différemment. La prise par temps de recherche n'est ni influencée par la répartition spatiale ni par la stratégie. Quand il y a stratégie, la prise par calée et le nombre de coups par temps de mer évoluent en sens inverse de la biologie. On concluerait qu'il y a peu de bancs riche en 1 sur les lieux de pêche et plus de bancs petits en 3. Ceci est lié au nombre de cases vides dans les deux cas que les statistiques de pêche ne fournissent pas.

### 3.3 Comparaison des pêches sur les biologies 1 et 2:

La biomasse diminue de moitié entre 1 et 2 et n'est pas répartie de la même façon. La prise par temps de mer suit la diminution de biomasse mais pas la prise par temps de recherche. Si on compare les pêches sans stratégie entre elles d'une part et d'autre part, celles avec stratégie, on voit que la prise par calée diminue de 1 à 2. Or dans les pêches avec stratégie, le nombre de coups par temps de mer augmente, montrant en cela le lien de ce paramètre avec la stratégie. Dans le cas 2, les pirogues qui passent dans une zone positive et y pêchent une premièrement fois y restent ensuite. Ce paramètre est lié à la variance du potentiel, plus fort en 2 qu'en 1.

### 3.4 Inférence possible de certains paramètres à la population:

La prise par temps de mer montre un lien avec la biomasse totale. Le nombre de coups de senne par temps de mer montre un lien avec la structuration des bancs. La prise par temps de recherche est très liée à la stratégie et ne reflète pas les variations de biomasse. La prise par calée est aussi très liée à la stratégie et n'est pas en relation simple avec la taille moyenne des bancs. La prise totale par pirogue (taux de remplissage) est remarquablement constante et ne permet aucune inférence.

## 4- DISCUSSION

Les statistiques des captures seules, en l'absence de connaissance sur les stratégies de pêche et sur la structuration spatiale des bancs et biomasses, ne sont pas suffisantes pour suivre les évolutions de biomasse. On a effectué d'autres séries de simulations en faisant varier le seuil SB ou la vitesse de déplacement des pirogues pour les cas 1 et 2 et on a obtenu des prises en opposition avec les fluctuations d'abondance. Il semble donc que les connaissances sur la stratégie de pêche et l'application de l'effort fassent défaut. En particulier, les phénomènes de saturation et de seuillage qui sont à l'oeuvre dans ce type de pêcherie

Ces simulations simples et criticables deviennent très vite compliquées. Les paramètres qu'elles requièrent augmentent vite et sont incontrôlables car souvent une connaissance expérimentale manque. On n'a pas cherché à simuler la nature. On a cherché à mesurer toutes les conséquences possibles des connaissances dont on dispose aujourd'hui. Celles-ci nous permettent de construire un modèle que l'on a spécifié et simulé. Les simulations sont alors autant d'images logiquement déductibles du modèle conceptuel. Les simulations nous permettent de générer des images de notre modèle et de chercher les non sens en explorant toutes les conséquences du modèle. Ceux ci nous conduisent à revenir au modèle conceptuel et à l'enrichir.

## REFERENCES

- Cox, D.R., 1955, Some statistical models connected with series of events, *J. Roy. Stat. Soc.*, B17, 129-164
- Journel, A., Huijbregts, Ch., 1978, *Mining Geostatistics*, Academic Press, London, 600p
- Lantuéjoul, C., 1994, Non conditional simulation of stationary isotropic multigaussian random functions, in *Geostatistical simulations*, Ed. by Armstrong A., Dowd P.A., Kluwer Academic Publishers, *Quantitative geology and geostatistics*, vol.7, 147-177
- Lantuéjoul, C., Kleingeld, W.J., 1994, Sampling orebodies with a highly dispersed mineralization, in *Proceedings of the fifth geostatistical congress*, Troya, 1994.
- Marchal, E., Petitgas, P., 1993, Precision of acoustic fish abundance estimates: separating the number of schools from the biomass in the schools, *Aquating Living Resources*, 6, 211-219
- Matheron, G., 1973, The intrinsic random functions and their applications, *Adv. Appl. Prob.*, vol.5, 439-468
- Petitgas, P., Levenez, J.J., 1995, Relationship between echogram structure, environment and biomass in senegalese waters, communication à International Symposium on fisheries and plankton acoustics, Aberdeen 12-19 juin 1995

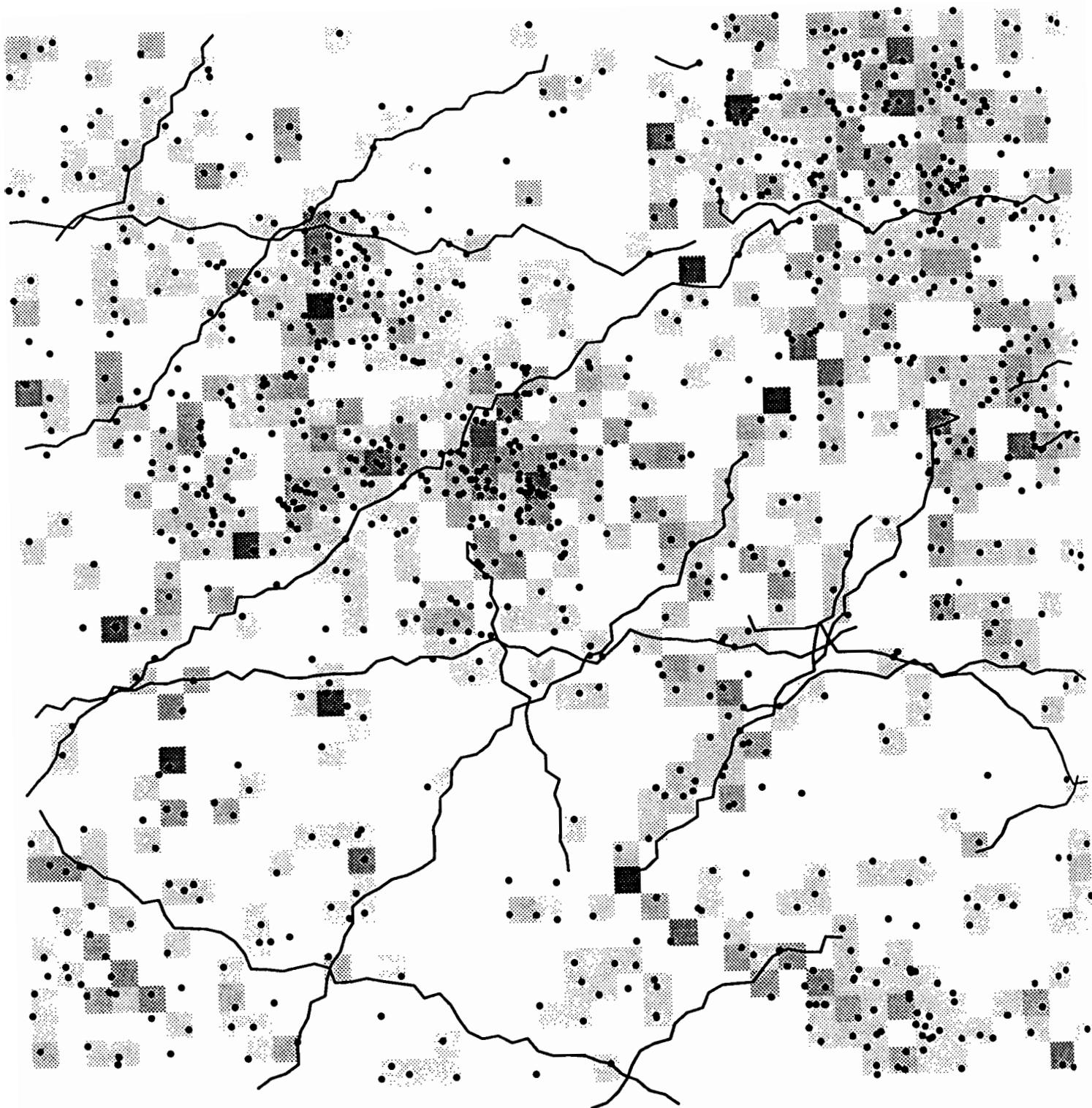


Fig. 1: Une des simulations du cas 1 et de sa pêche avec la stratégie (0,1,2). Les grisés représente la contribution de chaque case à la biomasse totale. Les traits représentent les trajets des pirogues.

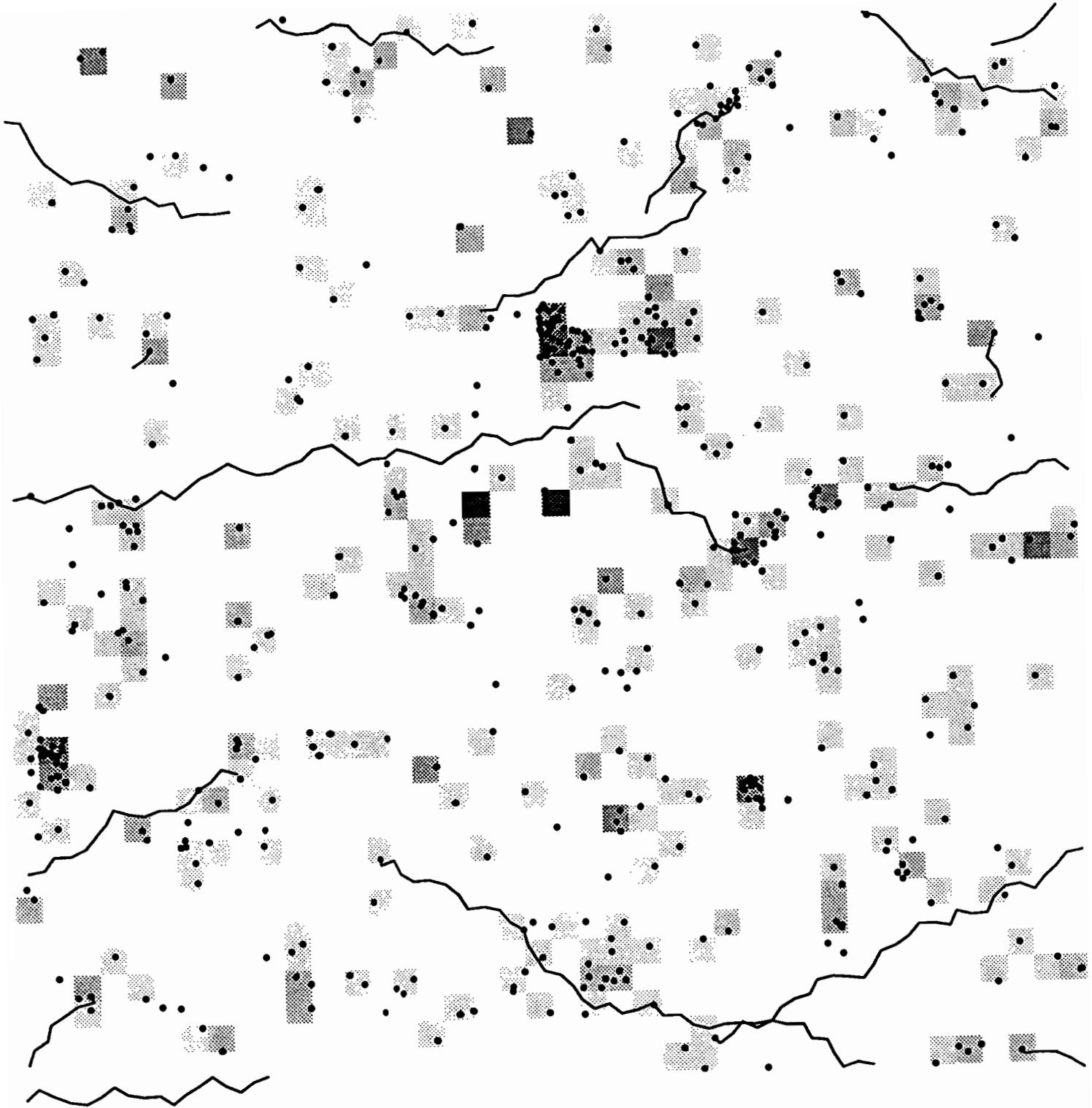


Fig. 2: Une des simulations du cas 2 et de sa pêche avec la stratégie (0,1,2). Les grisés représente la contribution de chaque case à la biomasse totale. Les traits représentent les trajets des pirogues.

Tableau 1: Situations biologiques étudiées. Les paramètres du potentiel  $\ominus$  sont:  $a_{\ominus}$ =portée du variogramme,  $M_{\ominus}$ =moyenne,  $CV_{\ominus}$ =coefficient de variation. Les autres paramètres sont:  $F0$ =fréquence des cases vides,  $M_b$ =moyenne de la biomasse par banc,  $SB$ =seuil de pêche des bancs (T).  $N$ =nombre total de bancs.  $Q$ =biomasse totale (T). Les seuils  $SB$  sont calculés pour que dans chaque cas 1% des cases contiennent au moins un banc supérieur à  $SB$ .

cas	$a_{\ominus}$	$M_{\ominus}$	$CV_{\ominus}$	$F0$	$M_b$	$SB$	$N$	$Q$
1	15.0	0.625	1.5	.63	5.0	20	1000	5000
2	2.5	0.312	2.5	.81	2.5	5	500	1250
3	2.5	0.312	2.5	.81	10.0	20	500	5000

Tableau 2: Statistiques des débarquements par marée pour différentes situations biologiques et différentes stratégies. Les situations biologiques sont les cas du tableau 1. Stratégie (0,0,0) est la stratégie témoin. Stratégie (0,1,2) est expliquée en 2.2.

cas	stratégie	Prise / temps mer	Prise / temps recherche	Prise / calée	Durée marée	Temps recherche	Nb.coups senne / temps mer	Taux remplissage pirogue
1	0,0,0	0.23	0.14	3.17	77.1	20.7	0.073	0.9
1	0,1,2	0.24	0.05	10.72	64.4	49.8	0.023	0.7
2	0,0,0	0.13	0.06	1.97	93.1	31.8	0.066	0.6
2	0,1,2	0.13	0.04	3.69	88.9	56.8	0.036	0.6
3	0,0,0	0.32	0.15	4.82	80.8	21.3	0.050	0.9
3	0,1,2	0.22	0.06	6.59	71.1	47.4	0.034	0.8

# **TABLE RONDE**

**CONFERENCES THEMATIQUES**

# LA DIMENSION SPATIALE DANS LES RECHERCHES SUR LES SYSTEMES AGRAIRES

Lardon Sylvie<sup>(1)</sup>

## I. PROBLEMATIQUES SPATIALES

### A. LES THEMATIQUES

A l'INRA, au département Systèmes Agraires et Développement, les champs de recherche concernent les exploitations agricoles dans leurs capacités d'innovation et de transformation, les filières et les dispositifs de coordination de la production et les territoires, dans la dynamique des paysages et des formes d'organisation sociale.

L'espace est souvent une composante des phénomènes étudiés, que l'on s'intéresse à la répartition des productions, la transformation des paysages ou la différenciation des espaces ruraux.

L'espace est aussi un facteur, une variable active dans les dynamiques étudiées, telles que les structures de la montagne pour la conduite des troupeaux en alpage ou la proximité des villes pour le développement de la pluri-activité agricole.

L'originalité de nos travaux est que nous utilisons l'espace comme moyen de compréhension des phénomènes, de communication entre disciplines, de généralisation des connaissances et de raisonnement sur les processus. Ainsi, nous construisons des modèles de représentation et nous élaborons des indicateurs spatiaux de fonctionnement pour imaginer des formes d'organisation adaptées aux systèmes complexes à gérer.

### B. LES OBJECTIFS

Les travaux portent sur différents objets, dans une perspective de maîtrise, par les acteurs, des processus bio-techniques et socio-économiques. D'autres approches se focalisent sur les projets et les savoir-faire des acteurs, l'approche par l'espace entre par la résultante des stratégies et la réalisation des faits socio-techniques.

Ainsi, nous raisonnons sur des entités spatiales qui sont localisées, qui ont une forme et qui évoluent. Trois types de questions se posent : Quelles sont les structures de l'espace étudié ? Quelles formes sont produites et quel impact ont-elles ? De quels processus sont-elles le siège et comment les maîtriser ?

Il s'agit donc de se donner des outils de description, d'analyse et de modélisation, non seulement pour connaître 'ce qui se passe' mais aussi pour proposer 'comment faire'. Cela demande de suivre les processus, mais aux niveaux d'organisation pertinents pour leur gestion.

---

(1) Biométrie et Informatique, INRA-SAD Toulouse, BP 27, Auzeville, 31326 Castanet Tolosan Cedex et Maison de la Géographie, 17 Rue Abbé de l'Épée, 34000 Montpellier.

## **II. ESPACE ET METHODES**

Ces objectifs étant posés, quelles sont les difficultés méthodologiques rencontrées dans l'intégration de l'espace dans les démarches de recherche, comment s'y prend-on ? Nous appuyant sur des travaux réalisés au SAD Toulouse, nous proposons une démarche en trois étapes (Lardon & Triboulet, 1994).

### **A. DESCRIPTION SPATIALE**

Tout d'abord, il s'agit de choisir les niveaux d'organisation, de spécifier les objets spatiaux et d'identifier les variables pertinentes. Cette étape demande de se construire un modèle de représentation de la réalité qui peut être instrumenté dans un système d'information géographique (SIG) (Lardon, 1994). Les méthodes d'Analyse de Données sont utilisées pour synthétiser les informations dans leur dimension statistique et les fonctionnalités de superposition et d'agrégation des SIG pour combiner les informations dans leur dimension spatiale. La cartographie automatique et la superposition de cartes sont des outils opératoires pour visualiser la composante spatiale des phénomènes, poser des hypothèses sur l'importance des caractéristiques spatiales, comparer différents points de vue sur un même espace ou les évolutions survenues au cours du temps. C'est donc dans l'interprétation des structures produites que se situe la prise en compte de l'espace (Lardon et al., 1995).

C'est une phase préalable à des approches plus approfondies. Elle fournit une image globale des lieux étudiés, positionne les principales structures et est un support de dialogue entre disciplines et partenaires. Pour être opératoire, c'est à ce niveau que devront remonter les enseignements tirés de la démarche d'ensemble.

Les problèmes méthodologiques posés dans cette étape sont relatifs à la non indépendance spatiale des individus statistiques considérés et à la non stationnarité de l'espace. Cependant, on discerne relativement bien les effets de proximité que l'on peut interpréter. C'est plus difficile pour caractériser les arrangements spatiaux, quand on se trouve devant des mosaïques hétérogènes et évolutives.

### **B. ANALYSE SPATIALE**

Ensuite, il faut caractériser les formes produites et identifier des indicateurs de structure et de fonctionnement. L'espace est le support de mesures, tels que des indices morphologiques, de répartition, de connexité, de coïncidence, mais aussi de flux, de transformations, de séquences, de ressemblance. Les statistiques spatiales, la morphologie mathématique et l'analyse d'images sont les outils de base de l'analyse en mode raster et la géométrie et la topologie le sont en mode vecteur. Il s'agit alors de mettre en relation ces indices et de mesurer leur impact sur les processus (Triboulet et al., 1994).

L'interprétation relève de la mise en correspondance des structures spatiales et des modes de fonctionnement et l'évaluation se fait par comparaison de situations observés. A partir de ces relations spatiales, agencements, configurations mises en évidence, il faut remonter aux mécanismes qui les ont produits, si l'on veut connaître les marges de manoeuvre possibles pour modifier leurs impacts.

Les difficultés rencontrées concernent alors le choix de l'échantillonnage, la validité statistique des résultats lorsque le nombre de répétitions est faible et l'absence, dans certains cas, de distributions théoriques. On peut avoir recours à des techniques de simulation pour analyser des distributions et caler les estimateurs.

### **C. MODELISATION SPATIALE**

L'étape à proprement parlé de modélisation nécessite bien sur des allers-retours avec les phases précédemment décrites. Sa spécificité est que l'espace intervient dans le déroulement d'une activité, non seulement comme support du processus, mais aussi comme facteur actif de la transformation. On ne peut pas le considérer comme une structure stable à décrire et à expliquer. Il faut modéliser conjointement la transformation d'une entité dans le temps et dans l'espace. Le temps et l'espace peuvent être considérés en continu (durée, étendue) et l'on évalue des intensités et des densités, ou bien discrétisés (événement, période, lieu, zone) et l'on caractérise des états et des différentiels (Guérin et al., 1994). Il s'agit de modélisation dynamique et systémique, encore peu instrumentée (Cheylan et al., 1995).

Les modèles servent à différentes actions :

- Evaluer : estimer les paramètres du modèle pour caler les informations observées.
- Généraliser : extrapoler à d'autres situations les connaissances obtenues sur un jeu de données localisées.
- Reconnaître : constituer de nouveaux objets par combinaison formalisée et interprétée d'objets élémentaires.
- Simuler : prédire des résultats par application d'un même mécanisme à des situations différentes, dans le temps ou dans l'espace.
- Raisonner : construire de nouveaux scénarios en testant différentes alternatives.

Cela soulève des difficultés non encore résolues, en particulier du fait de l'explosion combinatoire des solutions recherchées et des boucles de rétroaction inhérentes aux processus étudiés. Les principes même de la démarche expérimentale sont mis à défaut : existence de facteurs contrôlés, répétabilité des expériences, tests des résultats. De plus, cela demande d'intégrer différents points de vue, d'articuler différents niveaux d'organisation et de combiner différentes approches. En effet, il faut tenir à la fois le niveau élémentaire et le niveau global, suivre des processus qui se déroulent à des temporalités et des spatialités différentes, tenir compte des enjeux et des potentialités (OSTY et al., 1994).

On peut se demander si les nouvelles méthodes de la 'Vie Artificielle' ne pourraient pas répondre aux fonctionnalités de récursivité et d'interactivité nécessaires pour étudier des phénomènes complexes, labiles et irréversibles.

### III. STRUCTURES ET PROCESSUS SPATIAUX

Des travaux en cours dans différentes instances scientifiques traitent de ces questions, en particulier dans les domaines de l'environnement et de la gestion de l'espace. De plus en plus, on se rend compte qu'il faut dépasser les divergences entre approche 'par les structures', classiquement menée par les géographes et approche 'par les processus', représentée par les écologues. Cela nécessite de se doter d'outils et de méthodes appropriés pour explorer la complexité du vivant, mais également de construire des représentations et des démarches adaptées à la maîtrise des processus et à l'émergence des organisations.

### BIBLIOGRAPHIE

- CHEYLAN (J.P.), LARDON (S.), MATHAN (H.), SANDERS (L.), 1995. Les problématiques liées au temps dans les SIG. *Revue internationale de géomatique*. Hermes, Paris, 4 : 287-305.
- GUERIN (G.), LARDON (S.), OSTY (P.L.), TRIBOULET (P.), 1994. Comprendre et représenter l'organisation spatiale des systèmes techniques. L'élevage ovin extensif du Sud du Massif Central. *Symposium International Recherches-système en agriculture et développement rural*. Montpellier, 119-124.
- LARDON (S.), 1994. Le SIG : un outil de recherche ? In : *GEOPOINT*, Avignon, 13p.
- LARDON (S.) , TRIBOULET (P.), 1994. SIG et démarche de modélisation spatiale. In : *Conférence ESRI*, Paris, 10p.
- LARDON (S.), OSTY (P. L.), TRIBOULET (P.), Elevage et éleveurs du Causse Méjan (Lozère). Dynamique de mise en valeur et contrôle de l'espace. In : *Grands Causses. Nouveaux enjeux, nouveaux regards*. Fédération pour la vie et la sauvegarde du pays des Grands Causses. Millau, 219-242.
- OSTY (P. L.), LARDON (S.), LHUILLIER (C.), 1994. Systèmes techniques et gestion de l'espace : quelle qualité de l'organisation spatiale ? Les élevages ovins du Causse Méjan. *Etudes et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 28: 211-218.
- TRIBOULET (P.), LARDON (S.), OSTY (P.L.), 1994. Gestion de l'espace par l'élevage ovin sur le Causse Méjan. In : *Conférence ESRI*, Paris, poster.

**NOUVEAU OUTILS INFORMATIQUES :  
L'APPORT D'UNE DISCIPLINE (RESUME)**

**TREUIL Jean-Pierre  
ORSTOM - LIA`**

**32, Avenue Henri Varagnat, 93143 Bondy Cedex, France**

## **INTRODUCTION**

Il est banal de dire que l'informatique est un instrument de la recherche scientifique. Mais peut être qualifié d'instrument, d'une façon générale, tout ce qui permet de penser une réalité, de construire des représentations de cette réalité et de les communiquer à autrui, bref, **de construire des modèles.**

Les communications de ce forum sont essentiellement centrées sur les modélisations stochastiques et dynamiques, qui occupent quatre demi-journées. Les aspects de modélisation "statique" de l'information dans un but de gestion n'en occupent qu'une seule. Il est donc important de développer le premier aspect. Dans ce résumé écrit, nous allons cependant essayer d'apprécier l'évolution du statut de l'informatique dans la panoplie des outils de modélisation dans son sens le plus large.

Au départ un ordinateur est une machine à calculer; Les calculs que la machine exécute sont définis ailleurs, et ce sont les mathématiques qui en détermine la conception et le formalisme. Il n'est pas étonnant que l'informatique soit vue par beaucoup comme "l'instrument de l'instrument". Mais aujourd'hui les sciences du calcul sont une discipline scientifique à part entière, et dans le mouvement général d'échanges qui parcourt la science, on ne peut plus en négliger les concepts et les méthodes. Retraçons brièvement l'histoire de ces échanges, en distinguant pour structurer le propos trois aspects de l'Informatique :

- l'informatique comme science de la calculabilité.
- l'informatique comme science et technique du codage, de la structuration et du stockage des informations et des connaissances.
- l'informatique comme "science du monde conçu comme calculateur".

## **I- L'INFORMATIQUE, SCIENCE DE LA CALCULABILITÉ**

Les premiers ordinateurs sont nés avec la participation effective de mathématiciens et de logiciens, qui suite aux travaux de Gödel sur les fondements des mathématiques, avaient dégagés les bases théoriques de la programmation [1]. Tout programmeur s'est au moins une fois posé cette question: de quelles instructions mon langage doit il disposer au minimum pour que je puisse programmer le calcul de n'importe quelle fonction, aussi compliquée soit elle. La réponse est donnée par la théorie de la calculabilité. Cette dernière fournit un ensemble de modèles de calculateurs - tels la

machine de Turing - et en montre l'équivalence formelle. Cet ensemble de modèles équivalents définit un horizon semble-t-il indépassable (thèse de Church) en matière de calculs, et fixe ainsi de façon formelle ce qu'est une fonction calculable.

Tout langage de programmation se conformant à ces modèles est universel. Il permettra de calculer en un temps fini la valeur  $F(x)$  d'une fonction calculable définie en  $x$ . Mais ce temps fini n'est pas nécessairement un temps raisonnable, à l'échelle humaine, ni même à l'échelle de l'Univers. L'algorithmique, la théorie de la complexité des algorithmes, a précisément pour objectif de cerner l'ordre de complexité d'un problème et d'estimer l'ordre de grandeur du nombre d'opérations nécessaires à sa solution. C'est là un apport à ne pas négliger

## **II- L'INFORMATIQUE COMME SCIENCE DE LA STRUCTURATION DES INFORMATIONS ET DES CONNAISSANCES.**

Le terme français d'Informatique (contrairement au terme anglo-saxon de Computer Sciences) souligne les liens de la discipline avec les sciences de l'information. Traiter de l'information, c'est effectuer des calculs. Ce postulat est posé d'emblée. De nombreux concepts liés aux problèmes de structuration de l'information sont ainsi passés dans nos pratiques quotidiennes.

### **A- LES BASES DE DONNÉES.**

Le concept de base de données en est un premier exemple. L'idée maîtresse est de séparer informations d'une part, traitements de l'autre, en remarquant qu'un ensemble d'informations a souvent pour vocation d'être utilisé par plusieurs traitements différents dans leurs méthodes et leurs finalités. Dès lors réfléchir à la meilleure façon de structurer ces informations, pour elles même et compte tenu de leurs liens intrinsèques, indépendamment de telle ou telle utilisation, prend un sens. On sait la fortune de cette idée, dont la concrétisation industrielle, dans les années 80, a été celle des SGBDR. Il est frappant de voir dans ce colloque la conviction avec laquelle deux auteurs utilisent le modèle entité relation pour mettre sur pied un Système d'Information Scientifique. Je partage d'ailleurs leur conviction, même si elle me pose question, alors que des principes de structuration plus généraux, issus des conceptions objets, nous fournissent peut-être de nouveaux instruments.

### **B- LANGAGES ET SYSTEMES DE GESTION ORIENTÉS OBJETS**

Le fondement des conceptions objets est le suivant : Si la séparation entre traitements et informations doit rester un acquis ( on en retrouve d'ailleurs le principe dans les architectures dites "clients serveurs" ) , il n'en reste pas moins qu'une information, un vecteur de données, est toujours attachée dans la réalité à une entité susceptible d'être affectée par un ensemble de transformations limitées qui lui sont spécifiques. Dès lors pourquoi ne pas associer dans un "objet" informatique, les données décrivant l'entité et les

procédures représentant ses primitives de transformation. Un objet va donc être spécifié par des **attributs** descriptifs et des **méthodes** capables d'effectuer des calculs sur les valeurs de ces attributs et en fonction des arguments qu'on lui transmettra par message. L'objet devient par là même "actif", susceptible de participer de façon autonome à des processus complexes mettant en oeuvre d'autres objets. Cette conception s'est introduite d'abord dans les langages de programmation. Elle tend à pénétrer le monde des bases de données: sont apparus ainsi les systèmes de bases de données orientés objets (SGBDOO), qui se présentent comme les S.G.B.D. de l'avenir.

### C- LES "BASES DE CONNAISSANCES"

Les bases de données sont des bases de faits, à partir desquels le chercheur tente de raisonner. Aux bases de faits ont donc été associées des bases de règles, atomes de raisonnement permettant d'inférer des propositions, des diagnostics à partir des faits observés. Ce courant s'est popularisé dans les systèmes experts. Les "Bases de connaissances" vont plus loin dans le même sens. Un Système à Base de Connaissance comprend :

- un modèle du domaine, à savoir les termes employés pour décrire les faits et les relations entre ces termes (par exemple, les noms de mesures, les entités auxquelles elles s'attachent, les types et les fourchettes de valeurs possibles, etc).
- une base de règles.
- des modèles de raisonnement, c.a.d des connaissances sur la façon d'enchaîner les règles pour résoudre différents types de problèmes.

Le thème des Systèmes à Base de Connaissances (langages de représentation des domaines, modèles de raisonnement) fait l'objet de recherches intensives en IA. Les problèmes de diagnostic (et, dans les domaines naturalistes, l'identification des espèces) constituent un de leur champs d'application privilégiée.

### D- LES BASES DE DOCUMENTS

Toutes ces approches ont en arrière plan l'objectif d'une exploitation des connaissances par la machine. Il s'agit de pouvoir répondre à des requêtes complexes et au delà, dans les bases de connaissances, de résoudre automatiquement des problèmes. Ces objectifs font que les connaissances y sont décrites dans un langage formalisé, terme opposé à celui de langage naturel. Hors c'est bien dans ce dernier que sont cumulées et transmises la plus part des connaissances sous forme de textes, d'ouvrages, de documents divers. Après des années d'effort pour faire entrer données et connaissances sous des formes qui les rendent exploitables automatiquement, c'est bien ce contexte de résolution de problème qui est familier. Mais la capacité qu'ont acquis les systèmes informatiques de gérer des documents de toutes natures, l'amélioration des **interfaces hommes machines** ont rendu possible le développement d'un autre rapport avec la connaissance, celui de la "prise de

connaissance exploratoire". L'idée déjà ancienne des hypertextes , en tant que "modèle" d'associations et de **navigation** entre éléments d'information, a été réactualisée par ces techniques, et l'explosion des CD ROM et des serveurs WWW en sont des manifestations importantes. Il n'y a pas bien entendu de frontière étanche entre les deux contextes, dont le rapprochement au sein de systèmes hybrides est désormais une réalité.

### III- L'INFORMATIQUE COMME SCIENCE DU MONDE "CONÇU COMME CALCULATEUR"

Par le postulat de son équivalence avec le traitement de l'information, le calcul devient le principe permettant de modéliser la façon dont les êtres humains **connaissent** le monde dont ils font partie. Cette idée qui a fait partie de la "Cybernétique" a irriguée l'Intelligence Artificielle et ses différents courants et fait l'objet de nombreux débats en Sciences Cognitives.

Mais le paradigme informatique [2] va plus loin, en affirmant que le concept de calcul modélise **directement** la réalité du monde et les interactions qui y ont lieu. Les interactions des atomes au sein d'une molécule, des neurones dans le cerveau, les rapports entre espèces au sein d'un écosystème, la circulation des idées dans une société sont ainsi considérés comme autant de processus calculatoires mettant en oeuvre des objets s'échangeant des messages. Ce passage d'une vision méthodologique de l'Informatique à une vision ontologique [2] n'est pas seulement source de débats théoriques. Il sous tend, sans qu'on en soit toujours conscient, toute une approche de la **simulation** qui n'est pas nouvelle mais qui a pris ces dernières années, avec la programmation objet et les "systèmes multi-agents " un développement important. C'est l'approche de "l'expérimentation sur mondes artificiels" encore nommée "**laboratoires virtuels**". Elle reprend l'acquis de tout un ensemble de modèles génériques élaborés pour rendre compte de **dynamiques complexes**, tels les automates cellulaires, les réseaux booléens, les algorithmes génétiques, les systèmes de classifieurs, etc.

L'utilisation de ces méthodes, auxquelles le L.I.A. s'intéresse particulièrement, n'est pas sans risque méthodologique et ne saurait être "hégémonique". Une vraie réflexion épistémologique s'avère à notre avis nécessaire, pour qu'elles puissent développer toutes leurs potentialités.

Selon GB Vico " Dieu, seul connaît le Monde, car il l'a fait ". Simuler le monde sur un ordinateur, sous forme d'un monde artificiel, peut paraître l'apogée du "Verum Factum"[3], selon lequel on ne connaît que ce que l'on fait. Ce type de simulation apporterait en somme la connaissance du monde en offrant à l'homme la possibilité de le recréer. L'expérience montre que les choses ne sont pas si simples. Le programmeur est effectivement le "dieu" du monde artificiel que fait vivre son programme. Il n'est pas un événement qui ne soit la conséquence de son action, et dont il ne puisse garder trace. Est-ce à dire que le programmeur comprend ce qui s'y passe ? En réalité, la complexité des processus impose une limite à la compréhension, et le

programmeur se trouve devant son monde dans la même situation que devant le monde réel, à savoir devant quelque chose d'extérieur dont il doit se construire une représentation.

Cet écueil qu'on peut appeler l'écueil du réalisme, peut être évité si le programmeur considère que le rôle du monde artificiel n'est pas de "ressembler" à la réalité, mais d'en être une *abstraction forte capturant l'essentiel des phénomènes étudiés*. Plutôt que de vouloir reproduire la réalité, le programmeur utilisera la méthode pour expérimenter une variété de **mondes possibles**, pour en étudier les formes et la viabilité .

C'est le moment de mentionner les contextes d'**émergence**, où l'explication d'un phénomène à une certaine échelle, celle des discontinuités et des **transitions** qui s'y manifestent, n'est possible qu'en intégrant les interactions entre éléments d'une échelle plus fine et les liens entre les deux échelles. Dans les systèmes complexes, ces liens d'émergence ne sont pas toujours réductibles par analyse mathématique, et même lorsque de telles analyses sont possibles, l'expérimentation de fait des phénomènes peut s'avérer indispensable pour étudier certains aspects et en explorer la variabilité. La méthode des mondes artificiels s'avère alors particulièrement adaptée.

## **BIBLIOGRAPHIE**

1. Jean-Gabriel GANASCIA "L'ame-machine"  
Les enjeux de l'intelligence artificielle Seuil, 1990
2. Pierre LEVY "La machine Univers. Création Cognitives et Culture Informatique"  
Science et Sociétés. Editions la Découverte, 1987.
3. Jean-Pierre DUPUY - "Aux origines des Sciences Cognitives"  
Editions la Découverte, 1994