

Modélisation des activités de pêche à l'aide de méthodes numériques-symboliques

Jocelyne FERRARIS, Dominique PELLETIER, Marie-Joëlle ROCHET
ORSTOM IFREMER IFREMER
Laboratoire MAERHA
Rue de l'Île d'Yeu - B.P. 1105 - 44311 NANTES Cedex 03
Tel 40.37.40.00 - Fax 40.37.40.75

1) Introduction

En halieutique, les développements actuels tendent à faire évoluer les modèles classiques qui considèrent en général "un stock (*i.e.* une population) exploité et géré indépendamment des autres" pour prendre en compte d'une part la variabilité spatio-temporelle des populations considérées et de leur exploitation, et d'autre part les interactions entre populations et entre types d'exploitation. Cette nouvelle vision fait émerger la nécessité d'une analyse précise de l'activité de pêche, à l'interface entre l'écosystème marin et les systèmes sociaux qui y sont liés. Cette activité est caractérisée par un grand nombre d'informations concernant la nature des engins utilisés, les espèces recherchées et capturées, et les zones de pêche fréquentées. La modélisation proposée ici est une formalisation de ces informations complexes en métiers (combinaisons d'un engin de pêche, d'une cible et d'un lieu de pêche) et en flottilles (groupes de navires pratiquant la même stratégie d'exploitation, c'est-à-dire la même combinaison de métiers sur une période donnée, par exemple l'année).

Cette modélisation permet de définir des segments d'activité sur lesquels on pourra:

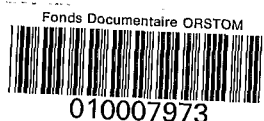
- mesurer ou estimer des paramètres, en particulier la mortalité par pêche subie par chaque stock et supposée homogène pour un métier, et donc en déduire l'impact de l'activité de pêche sur les populations exploitées;
- comprendre la dynamique de l'activité: en effet c'est à partir d'une description fine des éléments de l'exploitation que l'on sera à même d'établir des comparaisons entre années et de déceler des évolutions;
- fournir des éléments pour décider de limitations de l'exploitation, que ces limitations portent sur les segments d'activité (réduction de la puissance engagée dans tel ou tel segment de la flotte: c'est l'objectif des Plans d'Orientation Pluriannuels) ou sur leur déploiement dans l'espace (gestion par zone).

Pour établir cette segmentation, les données complexes qui constituent l'information de base sont analysées à l'aide de méthodes numériques classiques, complétées par des méthodes symboliques. Ces méthodes en plein développement permettent de définir et d'analyser des objets complexes qui ne sont plus seulement caractérisés par des nombres, mais par des assertions booléennes ou probabilistes (Diday, 1995). En ce sens, elles contribuent à la formalisation des résultats des analyses de données classiques.

Après une brève présentation des méthodes utilisées, trois exemples d'une telle modélisation des activités de pêche sont présentés ici: l'identification des métiers pratiqués dans la pêche artisanale sénégalaise; la répartition spatiale des efforts de pêche dans la pêcherie hauturière de la Mer Celtique; la dynamique des flottilles de pêche dans le Mor-Braz (Bretagne Sud).

2) Méthodes

La démarche consiste en une exploration de la structure des données par des méthodes permettant d'éviter des descriptions moyennes et de conserver la variabilité entre individus. On s'intéresse non pas à l'induction de modèles probabilistes liant des variables pour caractériser une grande population d'individus anonymes, à partir d'un échantillon représentatif, mais à une population, en général finie, d'individus personnalisés pour découvrir les liens entre eux, entre les variables qui les caractérisent et entre les variables et les individus. L'analyse de données symbolique (Diday, 1991) permet de manipuler des entités complexes formées de plusieurs unités individuelles. Un "objet symbolique" est



Fonds Documentaire ORSTOM

Cote : B* 7973 Ex : 1

défini en extension, par la liste des individus statistiques le caractérisant, et en intension par des assertions construites à partir des libellés des variables décrivant les individus.

La méthodologie adoptée est de type numérique/symbolique: à partir d'un traitement initial numérique (constitution d'une partition de groupes homogènes par classification automatique) une double approche est proposée afin de construire une représentation explicite des groupes obtenus:

- la première approche est basée sur une procédure algorithmique de caractérisation statistique de tout groupe d'individus extraits d'une population. Cette méthode peut être vue comme une aide à l'interprétation de classes obtenues par classification automatique (Morineau *et al.*, 1995) ou comme un algorithme d'apprentissage, issu du domaine de l'intelligence artificielle, générant un système de règles d'affectation des individus au groupe en question (Tong *et al.*, 1995). Cette méthode, appelée "marquage sémantique" dans le logiciel SPADN, permet de mettre en évidence les interactions entre variables qui sont statistiquement significatives à l'intérieur du groupe d'individus.

- la seconde approche consiste à utiliser une méthode de segmentation (Breiman *et al.*, 1984) qui permet une interprétation des classes d'une partition sous la forme d'un arbre binaire, et fournit ainsi un ensemble de règles de décision pour affecter un individu à l'un des groupes de la partition.

3) La pêche artisanale sénégalaise

La pêche maritime artisanale au Sénégal, qui assure plus des trois-quarts de la production halieutique, a connu de considérables changements dans les trente dernières années: phénomènes de migration, mutation technologique, transfert des efforts de pêche sur différentes cibles. Caractérisée par une grande diversité d'engins de pêche, elle représente plus de 5000 embarcations distribuées le long du littoral. Les variabilités spatio-temporelles et structurelles de la pêche s'expliquent par de fortes contraintes environnementales régissant la distribution de la ressource et par des variations au niveau socio-économique. Face aux facteurs de variabilité et d'incertitude de l'environnement, les unités de pêche artisanale se caractérisent par leur souplesse et leur capacité à changer de comportement de pêche. Un premier modèle de dynamique de l'exploitation (Laloë et Samba, 1991) introduit à l'aide d'équations mathématiques deux typologies distinctes relatives aux unités de pêche décidant selon une stratégie de la mise en oeuvre d'actions de pêche, et à ces actions de pêche caractérisées par leur impact sur la ressource exploitée. On propose d'analyser les opérations de pêche afin de déterminer le(s) métier(s) des pêcheurs qui reflète leur connaissance sur le plan technologique, le milieu et les espèces. Les métiers sont formalisés sous la forme de conjonctions de propriétés logiques concernant ces trois facteurs, soit l'engin, le lieu et la cible, pour lesquels on définit un seuil significatif sur les captures des espèces caractéristiques.

Données analysées

L'étude est abordée en privilégiant la dynamique propre à chaque entité spatio-temporelle, soit le port*année afin de tenir compte des caractéristiques de la pêche propres à l'environnement naturel, économique et socio-culturel, et des métiers successifs au cours des saisons. A chaque unité d'observation, la pirogue au débarquement, sont notées les informations sur la capture et l'activité de pêche. L'exemple illustré dans cette application concerne le port de Kayar en 1992 pour lequel les 6892 sorties de pêche échantillonnées correspondent à 8 catégories d'engin utilisés et 28 lieux de pêche visités. Les rendements exprimés en kilogrammes sont décrits par 64 espèces.

Schéma d'analyse

1 - Classification des profils de capture afin d'appréhender la cible du pêcheur. L'ensemble du cortège spécifique permet de tenir compte des associations entre les espèces, et donc des espèces accompagnatrices de la cible. Le codage transforme le tableau initial en profils-lignes pour tenir compte de l'importance relative des espèces, puis en logarithmes afin de normaliser les distributions. Une ACP est effectuée sur les variances-covariances pour tenir compte des espèces les plus importantes, suivie d'une classification basée sur l'algorithme de Ward et dont la partition est optimisée par la méthode des nuées dynamiques.

2 - Typologie des métiers: La spécialisation des pêcheurs est appréhendée par l'analyse des relations entre les trois facteurs définissant le métier. Une analyse des correspondances multiples est effectuée sur le tableau des trois variables qualitatives, afin d'analyser les relations entre leurs modalités. Une classification sur l'ensemble des axes factoriels, selon la méthode mixte précédente, permet de dégager les regroupements de sorties correspondant aux différentes combinaisons de modalités.

3- Formalisation des métiers par marquage sémantique.

4- Segmentation des variables continues (abondances relatives des espèces) afin de détecter des seuils significatifs des espèces capturées permettant d'identifier a posteriori le métier.

Types de Résultat

L'analyse des profils de captures dégage une partition en 9 classes représentant 40% de l'inertie totale du nuage de points. De l'arbre issu de l'ACM, seules quelques branches sont sélectionnées correspondant à des types purs qui peuvent être caractérisés par une combinaison de lieu(x), d'engin(x) et de profils de captures. Il s'agit donc bien d'une typologie et non d'une partition définie pour un même niveau de distance entre les classes. Sur les 6652 sorties typées en métiers, 2000 sorties sont sélectionnées aléatoirement afin d'effectuer le marquage sémantique. La segmentation est réalisée sur l'ensemble du jeu de données. Les résultats du marquage sémantique et de la segmentation sont illustrés pour le type "métier des ligneurs à pageot" représentant plus de 25% des sorties analysées. On construit deux types d'objets symboliques:

- un objet probabiliste indiquant la probabilité associée à chacune des conjonctions, formé par l'union des assertions du marquage, qui permet de formaliser le métier: exemple du marquage "ligneur à pageot" dont l'extension représente 88% du métier 1:

profil de capture =	{0,56 (type "pageot") ou 0,18 (type "pagre") ou 0,05 (type "rouget") ou 0,04 (pas de type "profond") ou 0,16 (autre)}
et lieu =	{0,35 (L15) ou 0,23 (L6) ou 0,14 (L14) ou 0,10 (L7) ou 0,18 (autre)}
et engin =	{0,64 (Ligne avec moteur >25 cv) ou 0,29 (ligne avec moteur <25 cv) ou 0,07 (autre)}

- un objet booléen construit à partir de l'arbre de segmentation binaire: Pour le métier 1, soit 1679 sorties, on trouve les espèces discriminantes suivantes:

	pageot > 44,5%
ou	pageot < 44,5% et pagre > 3,6% et mérrou < 21,9% et sole < 1%
ou	pageot < 44,5% et pagre < 3,6% et denté > 47%

L'arbre de décision ainsi construit permet de retrouver 75,2% des sorties classées dans le métier de type 1.

4) Dynamique spatio-temporelle de l'exploitation en Mer Celtique

La Mer Celtique est une mer épicontinentale qui s'étend du Sud de l'Irlande et de l'Angleterre et à l'Ouest de la Bretagne. La Mer Celtique est exploitée majoritairement par des chalutiers semi-industriels français pour la plupart originaires des quatre principaux ports du Sud de la Bretagne: Concarneau, Douarnenez, Le Guilvinec et Lorient. S'y ajoutent également des petites unités artisanales qui fréquentent essentiellement les zones côtières. Les types d'exploitation associés sont bien distincts, et ont par conséquent des impacts différents sur les ressources exploitées. Les espèces recherchées et les stratégies d'exploitation ont déjà été identifiées dans le passé (Charreau et Biseau 1989). La pêcherie de Mer Celtique est importante au plan régional mais est néanmoins gérée à un niveau international par un système de Totaux Autorisés de Captures (TAC) annuels. Ces TAC n'existent que pour certaines espèces, et sont de plus définis sur l'ensemble de la zone (ou une partie). Une limitation de la puissance motrice des flottilles a également été mise en place à travers un Plan d'Orientation Pluriannuel (POP) depuis 1987. Aujourd'hui, cette gestion a atteint ses limites, puisqu'elle a été impuissante à empêcher le développement au cours des années d'une puissance de pêche très excédentaire par rapport à la capacité productive des stocks, et que par conséquent la plupart des espèces sont gravement surexploitées. Cette raréfaction des ressources induit inévitablement de profondes modifications dans les stratégies de pêche des flottilles comme en témoigne par exemple l'émergence ces dernières années de l'exploitation de nouvelles espèces dites profondes. Une des solutions envisageables pour attaquer le problème de la surexploitation des ressources serait de recourir à des mesures de gestion non plus globales comme les TACs ou les POPs, mais spatialisées grâce à la fermeture permanente ou saisonnière de certaines zones à la pêche. Ces zones protégées pourraient contribuer à maintenir une biomasse suffisante pour les stocks visés. L'hypothèse sous-jacente à cette solution est l'hétérogénéité des distributions spatio-saisonniers des ressources, et par conséquent de l'exploitation.

L'objectif de cette analyse est de comprendre la dynamique spatiale et saisonnière de l'exploitation afin de déterminer au sein de la Mer Celtique des zones homogènes de ce point de vue. Une première

Année	Effectif	Intension	Cardinal (Extension)
1980	109	Chalut de fond > 0,633	106
1987	141	Chalut de fond > 0,67	111
		[Chalut de fond > 0,17 et < 0,6 et Drague à coquilles SJ et (Drague à bivalves ou Chalut pélagique ou rien)]	13
		[Chalut de fond > 0,17 et < 0,6 et (Drague à bivalves ou Chalut pélagique ou Conchyliculture ou Palangre de Fond ou rien)]	10
		[Chalut de fond > 0,17 et < 0,6 et Tamis à civelles < 0,33 et peut-être Drague à bivalves]	4
		Chalut de fond > 0,183 et Tamis à civelles < 0,292	140
1991	148	Chalut de fond > 0,67	78
		[Chalut de fond > 0,25 et < 0,6 et Drague à coquilles et (Drague à bivalves ou Chalut pélagique ou Casiers à crustacés ou ou Autres métiers)]	33
		[Chalut de fond > 0,25 et < 0,6 et Tamis à civelles et peut-être Drague à bivalves]	20
		[Chalut de fond > 0,25 et < 0,6 et Chalut pélagique et peut-être Drague à bivalves]	5
		[Chalut de fond > 0,25 et < 0,6 et Autres métiers et peut-être Drague à bivalves]	5
		Chalut de fond > 0,367 et Tamis à civelles < 0,45 et Bosselle < 0,083	148

Tableau 5.2: La flottille des chalutiers du Mor-Braz de 1980 à 1991. Entre crochets figurent les assertions décrivant la totalité de l'activité des segments considérés.

Bibliographie

- Breiman L., J.H. Friedman, R.A. Olshen and C.J. Stone (1984) Classification and Regression Trees. Wadsworth International Group.
- Charneau A., et A. Biseau, 1989. Etude d'une gestion optimale des pêcheries de langoustine et de poissons démersaux en mer Celtique. RI-DRV-89/09, 10 et 11 (3 tomes).
- Diday E. (1991) Des objets de l'Analyse des Données à ceux de l'Analyse des Connaissances. in: Induction Symbolique et Numérique à partir de Données (Eds Kodratoff & Diday). CBPADUES.
- Diday E., 1995. Probabilist, possibilist and belief objects for knowledge analysis. Annals of operations results. JC Baltzer scientific publishing company.
- Morineau A., M. Gettler-Summa et H. Torf (1995) Marquage sémantique des classes et des axes. XXVIIèmes journées de l'ASU. Jouy-en-Josas, 15-19 mai 1995.
- Laloë, F. et A. Samba (1991): A simulation model of artisanal fisheries of Senegal. ICES mar. Sci. Symp., 193: 281-286
- Tong H. et E. Perinel (1995) Une approche numérique/symbolique pour l'extraction et la formalisation de connaissances: application à la description de tactiques de pêche artisanale au Sénégal. 2ème Forum d'Halieumétrie, Nantes, 26-28 juin 1995.

étape consiste à identifier les différentes stratégies d'exploitation en privilégiant la dimension spatiale. Dans un deuxième temps, on pourra étudier l'enchaînement des métiers au sein d'une année, voire sur plusieurs années. Les résultats pourront être utilisés pour construire un modèle de la pêcherie.

Données analysées

L'activité des flottilles de pêche est suivie grâce au système national de statistiques de pêche mis en place par les Centres Régionaux de Traitement Statistiques avec l'aide de l'IFREMER. Les données, disponibles avec une couverture satisfaisante depuis 1985 environ, représentent un échantillonnage exhaustif de l'activité de pêche, fondé sur le caractère obligatoire de la déclaration pour les patrons (établissement de *logbooks*). Pour chaque année, deux types de tableaux de données sont analysés, qui décrivent pour chaque sortie (*marée*) de chaque bateau : a) le temps de pêche passé dans chaque rectangle statistique (carré de 30 milles nautiques de côté) ; b) la capture réalisée pour chaque espèce.

Schéma d'analyse et résultats

Les tableaux de données annuels comportent énormément d'individus et de variables, et il est nécessaire de procéder en plusieurs étapes pour en extraire un jeu approprié aux objectifs de l'analyse. Ainsi, pour l'année 1993, plus de 33000 sorties sont dénombrées qui se répartissent sur 155 rectangles statistiques. Figurent dans le tableau les sorties de tous les bateaux ayant fréquenté au moins une fois la Mer Celtique cette année-là. Dans un premier temps, on va donc écarter les bateaux qui pêchent de manière anecdotique dans cette région en retenant ceux dont le temps de pêche total annuel dans cette région est supérieur à 100 h, et on étudie le profil annuel des temps de pêche de chaque unité par rectangle statistique. Les données sont transformées en log pour éviter que des bateaux fréquentant des zones particulières ne structure la variabilité. On procède à une ACP normée, suivie d'une classification par méthode de Ward et nuées dynamiques, et d'un partitionnement en 7 classes. Les classes sont ensuite utilisées pour une segmentation à partir des caractéristiques techniques du bateau. Cette dernière permet de caractériser les classes de bateaux sous forme d'un objet symbolique exprimable en fonction de ces caractéristiques (Tableau 4.1). Ceci permet d'identifier les bateaux qui travaillent essentiellement en Mer Celtique. Les sorties de ces bateaux seront ultérieurement étudiées du point de vue de leur dynamique intraannuelle. Une classification puis une segmentation des rectangles statistiques peuvent par ailleurs être réalisées à partir d'un tableau où les individus sont ces rectangles, et les variables leurs coordonnées factorielles obtenues par l'ACP initiale. Ces résultats fournissent alors une typologie des rectangles où les classes sont de plus exprimées sous forme d'objet symbolique. Les classes de rectangles ainsi obtenues peuvent être utilisées pour aider à la construction de compartiments homogènes dans un modèle spatialisé de la pêcherie.

Classe (nb de bateaux)	Type et longueur moyenne (m)	Zones fréquentées préférentiellement
Classe 2 (9)	semi-industriel (25)	Ouest MC et Sud-Ouest Irlande
Classe 3 (18)	semi-industriel (35)	Ouest MC et Sud-Ouest Irlande
Classe 4 (172)	semi-industriel et artisan (22)	Centre MC et Sud Irlande
Classe 5 (50)	artisan (21)	Sud MC et Nord Golfe de Gascogne

Tableau 4.1. Caractérisation des classes exploitant la Mer Celtique (MC).

Classe	Objet symbolique
Classe 4	[Nb de rectangles fréquentés ≥ 7 et Longueur ≤ 16.5 m et Puissance motrice < 660] et [Effort total annuel ≤ 4422 h ou (Effort total annuel > 4422 et Nb de rectangles fréquentés $> = 12$)]
Classe 7	[Nb de rectangles fréquentés < 7] ou [Nb de rectangles fréquentés ≥ 7 et Longueur ≤ 16.5 m]

Tableau 4.2. Exemple de représentation de classe sous forme d'objet symbolique obtenus par la segmentation.

5) Dynamique des flottilles de pêche du Mor-Braz dans les années 1980

On regroupe sous ce nom les quartiers maritimes d'Auray, Vannes et Saint-Nazaire, couvrant ainsi une zone qui s'étend de Belle-Ile en Mer à St-Brévin. Il s'y pratique une pêche artisanale côtière présentant une grande diversité d'activités, que ce soit en termes d'engins utilisés, de zones fréquentées ou de caractéristiques des navires : la polyvalence caractérise non seulement la flotte mais aussi une grande partie des bateaux. Dans le contexte de la crise de la pêche, cette flotte a fortement régressé ces dernières années, passant de 683 navires inscrits aux Affaires maritimes en 1980 à 524 en 1991. On se pose ici la question des changements dans l'organisation de l'activité durant cette période : quels sont les métiers qui régressent, lesquels persistent ou se développent, et comment évoluent leurs associations ?

Données analysées

Trois tableaux représentant la quasi-totalité de la flotte sont analysés : 683 navires en 1980, 634 en 1986 et 524 en 1991. Des enquêtes menées par l'IFREMER et les Affaires maritimes permettent de décrire pour chaque navire-individu les activités pratiquées, c'est-à-dire les engins mis à l'eau dans l'année en nombre de trimestres. Dix-huit engins constituent ainsi les variables de l'analyse (il s'agit d'un niveau assez élevé d'agrégation : en réalité une diversité beaucoup plus grande d'engins est utilisée, mais les imprécisions ou disparités locales de codage imposent des regroupements).

Schéma d'analyse

Chaque tableau est transformé en parts annuelles d'activité (profils-lignes) puis soumis à une Analyse en Composantes Principales centrée. Les six premières composantes sont ensuite traitées par classification ascendante hiérarchique du lien complet. Les dendrogrammes obtenus sont coupés afin d'obtenir sept groupes, qui sont consolidés par minimisation de l'inertie intra-groupe par la méthode des k-moyennes. Le marquage sémantique des groupes obtenus permet de "purifier" les groupes ou flottilles en limitant les recouvrements (ce qui n'est pas atteint par les méthodes de classification à cause de leur caractère heuristique), et en recherchant une stabilisation des critères d'attribution aux groupes entre les années. Les flottilles sont ensuite décrites par marquage sémantique et segmentation. Les descriptions obtenues permettent la comparaison entre les trois tableaux analysés.

Types de résultats

Les partitions en sept groupes obtenues sont résumées dans le tableau 5.1. Le "critère minimum commun" d'appartenance à une flottille est une condition qui est restée nécessaire pour les trois tableaux (qui n'est en général pas suffisante). On voit l'émergence d'une nouvelle flottille de fileyeurs, alors que le groupe des ligneurs a disparu au début de la décennie. Les flottilles de civelliers, de caseyeurs et les polyvalents pratiquant les "petits métiers" sont également en régression, tandis que se développent palangriers et chalutiers. Ces derniers sont utilisés comme exemple pour illustrer la description symbolique des flottilles obtenue par marquage sémantique et segmentation (tableau 5.2). Cette description met en évidence le développement de l'utilisation des dragues en appoint au chalutage, dans une partie croissante de cette flottille.

Flottille	Critère minimum commun	Effectif 1980	Effectif 1987	Effectif 1991
Civelliers	Tamis à civelle > 0,125	140	108	55
Palangriers	Palangres > 0,155	48	91	86
Chalutiers	Chalut de fond > 0,6 ou (Chalut de fond et dragues) > 0,6	109	141	148
Chalutiers pélagiques	Chalut pélagique > 0,5	21	28	32
Caseyeurs	Casiers à gros crustacés > 0,24 ou Casiers à petits crustacés > 0,1	161	82	56
Ligneurs	Ligne > 0,422	40	-	-
Fileyeurs	Filet à petites mailles > 0,225	-	96	82
Petits métiers - conchyliculteurs	Aucun (groupe de "Divers")	162	88	65

Tableau 5.1: Les flottilles du Mor Braz de 1980 à 1991. Le critère minimum commun est en part annuelle d'activité consacrée au métier considéré.

Tendances nouvelles

**EN MODÉLISATION
POUR L'ENVIRONNEMENT**

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

**ACTES DES JOURNÉES DU PROGRAMME
ENVIRONNEMENT, VIE ET SOCIÉTÉS**

POSTERS

THÈME 3 : Modélisation des systèmes complexes,
systèmes écologiques, dynamique des populations,
bases de connaissances.

THÈME 4 : Chimie de la pollution atmosphère-
océan, systèmes hydrodynamiques couplés, modèles
de diffusion dans un milieu poreux.



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE