LES CHANGEMENTS D'ECHELLE EN HALIEUTIQUE: L'EXEMPLE DES PETITS PELAGIQUES COTIERS

FREON P. [1], *GERLOTTO F.* [2], *MULLON CH.* [3]

INTRODUCTION

L'halieutique, que l'on définira ici sommairement comme l'étude de la pêche et des ressources aquatiques qu'elle exploite, est un domaine scientifique relativement jeune puisqu'il ne retient l'intérêt de la communauté scientifique que depuis une cinquantaine d'années. Cependant ce domaine scientifique multidisciplinaire s'appuie actuellement sur des connaissances bien antérieure à son émergence, telles que la biologie, l'écologie, l'océanographie physique, l'économie, la sociologie, l'anthropologie, etc.

Historiquement, c'est l'aspect biologique qui a prévalu dans l'approche halieutique. A partir de connaissances générales et antérieures à l'halieutique, portant sur la systématique et la biologie d'une espèce (étudiée bien sûr en un lieu donné mais considérée sur l'ensemble de son aire de répartition géographique à l'échelle d'un océan, d'un continent ou à l'échelle du globe) on s'est orienté très vite vers la notion de population puis de stock, lequel se définit par rapport à l'exploitation qu'il subit. C'est donc rapidement sur des stocks exploités que les halieutes biologistes ont focalisé leur attention, en essayant d'en connaître les caractéristiques propres au niveau des facteurs pouvant intervenir dans la dynamique de leur démographie: migrations, paramètres de croissance, de mortalité naturelle et par pêche, de reproduction, alimentation, etc..

Les limites de l'approche strictement biologique sont apparues vers les années 70, durant lesquelles on s'est rendu compte que les relations entre le stock et le pêcheur n'était pas univoques, mais qu'il s'agissait d'une véritable interaction dans laquelle la réaction des pêcheurs aux modifications naturelles ou induites du stock était tout aussi importante que celle de l'effort de prédation exercé sur le stock par les pêcheurs. Les limites des modèles strictement

[1]ORSTOM, BP 8006, 97259 Fort-de-France, Martinique
[2]ORSTOM, BP 8006, 97259 Fort-de-France, Martinique
[3]ORSTOM, 70-74 Route d'Aulnay, 93140 Bondy

biologiques ayant été reconnues, on a fait appel aux océanographes physiciens et aux chercheurs des sciences humaines (macro-économistes en premier lieu) pour tenter de résoudre les problèmes en introduisant d'autres variables dans les modèles. On sait aujourd'hui que "le système pêche" est en fait complexe, voire tentaculaire, et qu'il ne se résout qu'à l'aide d'une approche plus large encore, faisant également appel à la micro-économie, à la sociologie et à l'anthropologie, pour ne citer que quelques disciplines.

L'intérêt des changements d'échelle sera ici abordé dans sa dimension temporelle et spatiale, mais aussi en rapport avec le niveau à partir duquel un système est appréhendé.Nous analyserons ici essentiellement le cas des stocks de petits pélagiques côtiers (type sardines, anchois, chinchards ou maquereaux) qui se caractérisent par:

- des migrations côtières de moyenne amplitude (quelques centaines de km) mais pouvant être rapide

- un comportement grégaire très marqué, qui les amène à se regrouper en bancs (essentiellement de jour) ou en couche pélagique (essentiellement de nuit), ces structures agrégatives pouvant présenter divers niveaux d'organisation, parfois complexes (cf. infra),

- une forte fécondité (plusieurs dizaines de milliers d'oeufs par femelle et par an) et donc une nécessaire forte mortalité des premiers stades, cette dernière étant largement liée aux fluctuations du milieu,

- une vitesse de croissance et une mortalité naturelle souvent élevées, en particulier en milieu tropical, et dépendantes elles aussi du milieu,

- en conséquence de ce qui précède, de fortes fluctuations naturelles d'abondance, amplifiées par leur vulnérabilité à l'exploitation, laquelle peut conduire à des effondrements de stocks,

- enfin ces espèces, de par les difficultés qu'entraîne l'évaluation de leurs stocks par des modèles de dynamique des populations, et grâce à leur statut pélagique, ont été les premières à bénéficier de méthodes directes d'évaluation, en particulier par des techniques hydro-acoustiques (écho-intégration)

LES DIVERSES ECHELLES SPATIALES

Aspects généraux

Nous avons vu que, très schématiquement, l'approche de la variabilité chez les poissons avait évolué historiquement du niveau général de la systématique mondiale à celui du stock, en passant par la population. Concernant les petits pélagiques côtiers, on s'est rapidement rendu compte de la nécessité de considérer des sous-stocks géographiques, correspondant soit à des groupes d'âge différents (nourrisseries par exemple) soit à des fractions de stock ayant entre elles un certain taux d'échange mais présentant des caractéristiques biologiques différentes (exemple des sous-stocks de harengs de la mer du Nord dont certains individus ne pondent qu'au printemps et d'autres qu'à l'automne).

La localisation géographique de ces différentes composantes du stock, ou parfois les migrations d'une même composante (en général les individus les moins jeunes) font que leur accessibilité varie en fonction des caractéristiques du bateau de pêche, en particulier de sa taille (autonomie en mer, rapidité de déplacement, etc). De ce fait, la puissance de pêche d'un bateau - qui détermine la mortalité qu'il va exercer sur le stock- ne sera pas la même selon que l'on s'intéresse à l'effet local (une fois arrivé sur les lieux de concentration du poisson) ou à l'effet global (lorsque l'on considère l'ensemble de la zone). Ce type de problème, dont l'importance est souligné par Laurec (1977) et Laurec & Le Guen (1977) amène les halieutes à stratifier les zones de pêche non seulement en fonction de critères écologiques (tel que le type de substrat -mais celui-ci intervient peu pour les poissons pélagiques- ou l'hydrologie des masses d'eau), mais aussi en fonction de la distance du port

Les méthodes directes d'observation ou d'évaluation ont permis d'aborder des structures plus fines que celle du stock ou du sous-stock. La pêche portant sur des bancs ou sur des couches (schématiquement: pêche à la senne tournante pour les premiers et pêche au chalut pélagique pour les secondes), on a tout d'abord cherché à mieux connaître ces entités.

Les premiers travaux sur les bancs ont eu lieu en bassin et ont montré que la structuration spatiale des individu au sein d'un banc était très forte, prenant parfois l'aspect de structures "cristallines" (Wheis, 1973). Cette même échelle d'observation, réduisant à quelques dizaines d'individus la taille du banc observé, a laissé croire que le banc pélagique se comporte souvent comme un individu unique, réagissant en bloc à un stimulus. Des observations à une échelle un peu supérieure, réalisées dans des bassins de quelques m3, ont permis de déceler des comportements de groupe organisé, tels que "l'effet de fontaine", qui permet au banc d'échapper à un prédateur en se divisant devant lui et en se regroupant derrière lui (Pitcher, 1985).

Mais cette échelle n'est pas encore suffisante pour rendre compte de l'ensemble des phénomènes ayant lieu *in situ;* dans le cadre de notre programme d'étude du comportement appliqué à l'halieutique nous avons réalisé *in situ* des observations visuelles et acoustiques de bancs regroupant plusieurs dizaines de milliers d'individus. Ces observations, effectuées simultanément sous l'eau et à partir d'un hydravion ULM, nous ont permis de constater que si la structure cristalline et les réactions de bloc existent bien à l'échelle d'un groupe d'individu (de l'ordre d'une centaine), le banc dans son ensemble présente une structure plus complexe. On observe en effet chez certaines espèces de grands espaces vides (vacuoles) tandis que d'autres espèces s'organisant en grosses colonnes enchevêtrées (Gerlotto & Fréon, 1988). Dans de telles structures, occupant plusieurs centaines de m3, on observe des réponses locales aux stimuli et des phénomènes d'amortissement des réactions. De façon générale, l'originalité du programme EICHOANT (Evaluation de l'Impact du Comportement en Halieutique et sur les Observations Acoustiques en milieu Naturel Tropical) réside en grande partie dans le changement d'échelle d'observation du comportement du poisson (Fréon & Gerlotto, 1988. Il a été en effet constaté que certains comportements (de dominance hiérarchique en particulier) peuvent exister sur une même espèce placée dans des conditions artificielles et disparaître lorsque le nombre d'individus augmente.

Ces bancs sont eux-mêmes rarement isolés et se regroupent en concentrations dans la journée. La nuit ils se dispersent plus ou moins (en fonction de l'éclairement lunaire et d'autres facteurs que l'on ignore encore); alors:

- soit ils occupent de grands volumes en se dispersant dans les trois dimensions,

- soit ils forment des couches homogènes plus denses et situées dans des limites bathymétriques bien déterminées,

- soit ils constituent des structures plus complexes comportant des bancs, des couches et des poissons dispersés. Nos premières observations, bien que limitées, semblent indiquer un gradient de concentration de la périphérie vers le centre de ces macro-structures (Fréon *et al.*, 1988).

Ces modes agrégatifs varient d'une espèce à l'autre, voire d'une fraction de stock à une autre, ce qui parfois permet à un même type de pêche de se développer préférentiellement sur une espèce (ou un groupe d'âge) de jour et sur un(e) autre de nuit. Ainsi les sardiniers dakarois capturent 92% des jeunes sardinelles de jour et 68% des chinchards noirs de nuit (tableau 1) alors que le rapport du nombre de sorties jour/nuit varie de 0.1 à 0.5 selon les années

Lorsque l'on sait que l'une des difficultés majeures de la modélisation des populations exploitées est de connaître la pression de pêche subie par les stocks, en particulier en milieu tropical où les pêcheries sont généralement multi-spécifiques, on voit qu'il peut y avoir là une solution. Cela suppose que le recueil des données permette de descendre à une échelle temporelle aussi fine que la tranche horaire d'activité. L'influence du cycle lunaire apparaît également dans la composition des captures, mais la structuration des données n'est pas suffisamment forte pour permettre une prise en compte systématique de ce facteur dans ce sens (65% des chinchards jaunes sont capturés de nuit en phase le lune montante).

ESPECES	PROPORTION DES CAPTURES DE JOUR	NOMBRE TOTAL D'OBSERVATION (JOUR + NUIT)
Sardinella maderensis total	97 %	11 468
Sardinella aurita jeunes	98 %	6 785
Sardinella aurita adultes	44 %	4 363
Caranx rhonchus	44 %	2 561
Trachurus s	32 %	1 008
Scomber japonicus	47 %	997
Pomadasys s	100 %	4 40
Chloroscombrus c	00 %	428

Tableau 1. Proportion des captures réalisées de jour par les sardiniers dakarois de 1967 à 1989, pour les principales espèces
(nombre de captures de l'espèce considérée supérieures à 1 tonne ou représentant au moins 40% de la capture totale de la sortie)

L'EXEMPLE DE L'ECHO-INTEGRATION

La méthode d'évaluation des stocks par hydro-acoustique se heurte à ce problème de forte variabilité spatiale (et parfois temporelle). Les travaux de diverses équipes, dont celles de l'ORSTOM, ont montré la complexité du problème, lié à la fois à la structure contagieuse des agrégations et au mode d'échantillonnage qui est pratiquement

continu dans trois dimensions (temps, profondeur et trajet suivi par le bateau de prospection) et fortement discontinu dans la quatrième (distance inter-radiale). Il s'agit d'un cas exemplaire de problématique du changement d'échelle en ce sens que l'unité d'observation élémentaire (l'écho d'une émission sonore intégré dans une couche d'eau de 10 cm d'épaisseur) permet un échantillonnage pratiquement exhaustif dans deux dimensions de l'espace, et que les moyens informatiques actuels permettent actuellement de saisir toute cette information (data-logger) qui est de l'ordre du milliard d'observations pour une campagne ordinaire. Cette saisie totale n'était pas possible il y a quelques années et l'on s'est alors attaché à définir la distance élémentaire d'échantillonnage sur laquelle les échantillons sont regroupés (ESDU en anglais) et secondairement l'épaisseur des couches d'eau à intégrer.

Deux problèmes essentiels se sont alors posés au niveau de l'utilisation de l'écho-intégration appliquée à l'évaluation des biomasses: celui de l'homogénéité intra-ESDU et celui de la corrélation entre les ESDU voisins (autocorrélation) que nous ne développerons pas ici.

a. Dimension de l'ESDU

Laloe (1985) propose un modèle théorique de calcul de la variance à partir des hypothèses de base suivantes:

- pas de corrélation entre densités et erreurs dans un rectangle élémentaire (surface centrée sur un ESDU), ou ESSR (Elementary Sampling Single Rectangle);

- absence de corrélation entre les erreurs commises dans des ESSR différents;

- la covariance entre les mesures de biomasse de deux rectangles est fonction de la distance entre eux (autocorrélation).

Une fois posées ces hypothèses, Laloe présente une discussion sur la longueur optimale d'un ESDU afin de prendre en compte les contraintes énumérées ci-dessus:

- limite inférieure de longueur: elle est responsable de l'indépendance des erreurs de mesure, et pour cela doit être de taille supérieure aux "microstructures" que sont les bancs pélagiques. Dans les régions tropicales, ceux-ci n'atteignent pratiquement jamais le demi-mille, et rarement le quart de mille.

- limite supérieure de longueur: elle doit satisfaire à l'hypothèse d'homogénéité à l'intérieur d'un ESDU. Cela peut

être admis à la condition que la longueur des ESDU soit petite par rapport aux "macrostructures" (concentrations). Celles-ci, en milieu tropical, peuvent être variables, allant dans leur plus courte dimension (direction d'anisotropie maximale) de quelques milles à quelques dizaines de milles.

Il semble dans ces conditions qu'un ESDU doive, dans les zones tropicales, être de taille au moins supérieure à 500-1000 m, et de longueur la plus courte possible au delà de cette limite. C'est pourquoi nous avons réduit la longueur des ESDU, primitivement de 2 milles, à environ 1300 m (6 minutes à 7 noeuds)

b. Calcul des corrélogrammes

Deux méthodes essentielles ont été utilisées, la géostatistique et le calcul des corrélogrammes. Le principe consiste simplement à calculer un corrélogramme pour des ESDU de différentes tailles.

Il semble en règle générale que l'autocorrélation ne soit pas si importante dans les zones tropicales à fortes densités pélagiques que dans les zones tempérées ou froides. Elle s'étend en effet sur une distance maximale d'autocorrélation de 7 ESDU, ce qui correspond, avec nos intervalles, à une distance d'environ 5 milles, mais est en général beaucoup plus réduite (2 milles environ).

c. L'apport de la géostatistique

Le calcul des corrélogrammes ne résout pas tous les problèmes que présente l'autocorrélation. Des méthodes plus complètes ont été adaptées récemment de la géostatistique par divers auteurs. Gohin (1985) propose un modèle mettant en oeuvre le calcul de variogrammes sur les données de densité, en s'inspirant des travaux de base de Matheron (1965).

L'intérêt de l'emploi des variogrammes est double. C'est en effet à la fois:

- un outil performant de calcul de variance, qui tient compte des relations inter-ESDU (en particulier l'autocorrélation) et des lois de distribution des densités. Il devient alors possible d'appliquer les méthodes sur les données brutes, non transformées, ce qui permet une interprétation facile et non biaisée de la variance;

- un outil descriptif d'une population. Il s'agit plutôt ici de tirer des enseignements de l'allure des variogrammes. Ceux-ci fournissent en effet trois informations:

  * une mesure de l'effet de pépite (micro-structures);

* une mesure de la portée (autocorrélation);

* une description de la macro-structure (variance) des concentrations.

En outre les méthodes géostatistiques permettent l'application de techniques robustes d'interpolation (krigeage).

Guillard *et al.* (1987) ont également appliqué ces méthodes à des données d'écho-intégration recueillies sur le lac d'Annecy. Ils montrent l'influence de la dimension des ESDU sur les ajustements du modèle, celui-ci étant d'autant meilleur que les ESDU sont courts. Il est certain toutefois que l'on ne rencontre pas de microstructures (bancs) dans le lac, ce qui permet de réduire au maximum la longueur des ESDU.

L'ensemble de ces observations et les analyses de cas d'espèces (Gerlotto, 1989; Simard & Gerlotto, 1990) permettent de tirer des conclusions nettes sur le choix de l'unité d'échantillonnage:

- la longueur optimale des séquences doit se situer entre celle des micro-structures (bancs) et des macro-structures (concentrations). Dans les conditions qui sont les nôtres, cela revient à situer la longueur des séquences dans une fourchette entre 500 m et 3 milles. Nous avons choisi une longueur d'ESDU voisine de 1300 m.

-l'autocorrélation des ESDU, toutes populations confondues, est faible dans la région étudiée, ne dépassant pas 7 séquences (5 milles), et le plus souvent avoisinant 2 à 4 séquences (1.4 à 3 milles).

- cette autocorrélation peut être pratiquement éliminée par le choix d'une stratification appropriée.

LES DIVERSES ECHELLES TEMPORELLES

Si dans les travaux initiaux de systématique, l'échelle temporelle était inexistante (ou reléguée au niveau de l'évolution des espèces), rapidement le problème de l'intervalle de temps d'observation s'est posé dans le recueil des données biologiques puis socio-économiques. En effet, le cas des petits pélagiques côtiers n'à rien d'original en ce sens qu'on observe une variabilité journalière (cf. supra), une variabilité saisonnière (même sous les tropiques) et une variabilité interannuelle.

Jusqu'à ces dernières années, on a cherché à modéliser essentiellement la variabilité inter-annuelle, se contentant de décrire les niveaux inférieurs de variabilité et de les considérer comme un bruit de fond. Plus récemment, on a essayé d'inclure la

saisonnalité dans les modèles (cas de la croissance par exemple). Or on s'aperçoit de plus en plus souvent que la variabilité inter-annuelle des captures des espèces marines est conditionnée par des variations climatiques à une échelle temporelle bien plus fine, en particulier dans les premiers stades de leur vie.

En effet, le succès de la reproduction de beaucoup d'espèces est lié à l'occurrence de certaines conditions (température, turbulence, richesse du milieu) devant avoir lieu dans une "fenêtre" temporelle, voire spatio-temporelle très étroite (Sharp, 1980). Selon les espèces (ou les écoles de pensée) la variabilité de cette mortalité massive est liée soit à la probabilité de rencontre entre les essaims de larves et les essaims de plancton qui constituent leur proie (hypothèse du "match/mismatch"), soit aux conditions de circulation qui font que les larves seront entraînées ou non vers les nurseries qui leur sont favorables (hypothèse du "member/vagrant"). Dans un cas comme dans l'autre ce seront les conditions hydrologiques au cours de quelques jours précis dans l'année qui conditionneront l'abondance d'une classe d'âge pendant plusieurs années. La localisation de cette fenêtre n'est pas toujours facile et l'on devra avoir recours à des méthodes d'analyse des séries chronologiques plus ou moins avancées (cross-corrélation, autorégression, régression optimale, etc) dont on trouvera des exemples d'application aux espèces pélagiques tropicales dans les travaux de Rébert (1979), Fréon (1986, 1988), Mendelssohn & Cury (1987) et Cury & Roy (1990). Une approche empirique intéressante a été proposée récemment par une équipe française dans le domaine terrestre: il s'agit de la recherche automatique du maximum de corrélation entre l'abondance annuelle d'une population et un événement climatique, en fonction de la localisation temporelle et de la durée de ce dernier (Pierre *et al.*, 1986).

Les variations inter-annuelles de mortalité par pêche (qui dépendent à la fois de l'effort de pêche et de la capturabilité) peuvent elles aussi être structurées par des événements climatiques décelables à petite échelle. Ainsi l'arrivée des sardines du stock "A" marocain dans la zone de pêche est liée à la production planctonique locale, laquelle dépend non seulement de l'intensité de l'upwelling mais aussi de sa variabilité. De fait, la productivité primaire nécessite une alternance de périodes fortement ventées permettant la remontée des sels nutritifs (upwelling), et de périodes plus calmes où la faible turbulence du milieu est favorable à la productivité (Bakun *et al.*, 1983; Belvèze, 1980; Roy, 1990). Au Sénégal Laloe et Samba (1989) ont montré que les variations de mortalité par pêche pouvaient être modélisées en distinguant une variabilité de haute fréquence liée aux changements d'espèce cible, une variabilité de moyenne fréquence liée aux saisons climatiques, et une variabilité de basse fréquence issue de changements majeurs tels que la technologie, la tactique de pêche ou la découverte de nouvelles ressources.

On voit donc que la tendance en halieutique est de descendre vers des échelles spatiales et temporelles de plus en plus fines pour mieux comprendre les phénomènes (la trop célèbre expression scolaire:

"aller du général au particulier"). Toute généralisation dans ce sens serait cependant hâtive. Nous donnerons pour preuve quelques contre-exemples, montrant en particulier que parfois la source de la variabilité interannuelle peut se situer au niveau de phénomènes climatiques à long terme, présentant une tendance ou une pseudo-périodicité, même s'il est vrai que l'on est bien souvent incapable d'identifier précisément ce phénomène. L'une des raisons en est la non-indépendance entre les variables de l'environnement (colinéarité ou relation non linéaire).

Le premier concerne les études de sédimentation des débris organiques de poissons (écailles et vertèbres) conservés intacts depuis des siècles dans le sédiment anaérobie des fosses profondes. Cette approche a été initiée par les travaux pionniers de Soutar et Isaacs (1974) en Californie qui ont montré qu'il pouvait exister des effondrements de stocks et des substitutions d'espèces en l'absence d'exploitation. Nous avons utilisé la même approche pour la population pélagique de l'Orient du Vénézuéla (Llano *et al.*, 1990) et observé ici aussi de grandes fluctuations de densité d'écailles et de vertèbres (toutes espèces confondues) correspondant à une époque où l'influence de la pêche pouvait être considérée comme négligeable. Ce type d'étude, également reconduite dans d'autres régions du globe par d'autres équipes, a largement contribué à conforter une révision des thèses conventionnelles qui supposaient que la pêche constituait le facteur essentiel gouvernant les fluctuations d'abondance.

Le second exemple a trait aux études récentes de la variabilité du recrutement à l'échelle séculaire à partir des données historiques quantitatives, ou semi-quantitatives, voire qualitatives. On en trouvera des exemples dans Binet (1988) ayant trait aux sardines et aux harengs d'Europe, et dans Goy *et al.* (1989) quant à une espèce pélagique non exploitée: la méduse urticante.

Ces deux premières séries d'exemples posent le problème de la distinction entre les fluctuations d'abondance qui peuvent être attribuées seulement à une variation de recrutement d'une population, et celles qui correspondent plutôt à l'émergence de nouvelles populations suite à l'influence de tendances climatiques majeures. Ce problème s'est posé aussi bien pour des espèces tempérées (harengs de la Baltique, morues du Groënland) que pour des espèces tropicales étudiés par l'ORSTOM: émergence du stock "C" de sardines au large du Sahara depuis 1974 suite au renforcement de l'upwelling (Fréon & Stéquert, 1979; Sedikh *et al.*, 1979); explosion démographique du baliste le long des côtes ouest-africaines depuis 1979 (Caverivière *et al.*, 1980); extension géographique ou apparition d'un nouveau stock de sardinelles en Côte d'Ivoire depuis 1983 (Binet & Pezennec, 1990).

La troisième série d'exemples concerne la modélisation de la production secondaire dans les systèmes d'upwelling côtiers. On connait assez bien les mécanismes d'eutrophisation de ces milieux: le vent est le moteur du système, qui entraîne des remontées d'eaux profondes et riches en sels minéraux près de la surface, c'est à dire

dans la zone photique où la lumière permet au phytoplancton de se développer; le zooplancton se développe à son tour à partir de cephytoplancton et les poissons pélagiques côtiers consomment ce plancton (fig. 1). Il paraissait assez simple *a priori* de modéliser une telle chaîne alimentaire, or toutes les tentatives, même de modélisation de la relation entre deux maillons contigüs, ont échoué dès qu'il s'est agi de quantifier les relations. La raison essentielle réside -à notre sens- dans l'énorme variabilité, à la fois spatiale et temporelle, des maillons intermédiaires que constituent le phyto et le zooplancton. En revanche, si l'on ne considère que les deux maillons extrêmes (le vent et la production de poissons) on peut assez facilement mesurer leur variabilité car elle est seulement à dominante temporelle dans le cas du vent, et à dominante spatiale dans le cas du poissons. Les appareils météorologiques enregistreurs d'un côté, et les pêcheurs de l'autre, permettent donc d'obtenir des moyennes saisonnières ou annuelles qui ont un sens, ce qui n'était pas le cas pour le plancton jusqu'à ces dernières années (à présent la télédétection par satellite commence à fournir des indices représentatifs de la richesse en phytoplancton à grande échelle par l'analyse des canaux visibles). Ainsi, dans plusieurs région d'upwelling, on a donc pu appliquer des modèles globaux de production ne prenant en compte qu'un indice climatique et la pression de pêche exercée sur le stock (Fréon, 1983; 1988; Cury & Roy, 1987; Fréon *et al.*, 1990; Laloë, 1989).

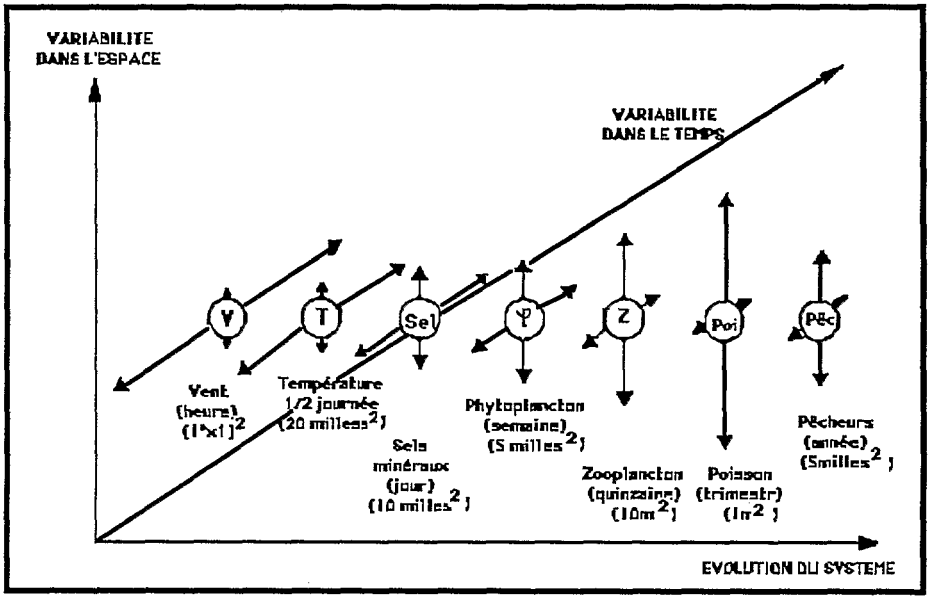

Figure 1. Schématisation de la variabilité des différents maillons du système de production (variables centrées réduites) dans une région d'upwelling côtier

(échelles de variabilité non linéaire; entre parenthèses: durée ou surface de relative stabilité du maillon)

Si l'on pousse encore plus loin l'idée de relier les extrémités de la chaîne de production et que l'on sort du modèle bio-climatique pour s'intéresser à ses conséquences sur l'économie, on s'aperçoit par exemple que le prix moyen annuel des sardinelles au Sénégal est inversement proportionnel à l'indice d'upwelling (Roy, 1990). On n'a pas encore cherché à valider et à modéliser cette relation, mais il est vraisemblable que la loi d'offre et de la demande constituerait une hypothèse sous-jacente à un éventuel modèle global.

L'exemple précédent nous amène à aborder (rapidement car il ne s'agit pas de notre discipline) l'influence des techniques récentes sur l'échantillonnage en océanographie physique. Jusqu'aux années 70, l'océanographe physicien était condamné à effectuer ses échantillonnages en mer à l'aide d'un bateau au cours de campagnes fort coûteuses. Il en résultait des pas d'échantillonnage très lâches dans le temps, si ce n'était également dans l'espace. Les observations par satellite permettent maintenant de réaliser des échantillonnages rapprochés (journaliers lorsque les conditions météorologiques sont favorables) et à grande échelle. De ce changement d'échelle, attendu depuis longtemps, a résulté un bouleversement des approches et des connaissances. Pour ne citer qu'un exemple en relation avec les poissons pélagiques côtiers, nous allons voir comment la formation et la disparition des upwellings côtiers a reçu un nouvel éclairage inattendu. On croyait en effet que l'arrivée et la disparition de l'upwelling le long des côtes de la Mauritanie et du Sénégal suivait un schéma linéaire de déplacement spatio-temporel, lié à la progression d'un front thermique. Les images de Météosat on montré au contraire qu'il se forme tout au long de la côte des "poches" d'upwelling (dont l'apparition suit bien sûr une progression linéaire nord-sud) qui se rejoignent plus ou moins en milieu de saison, et qu'à la fin de la saison c'est par la disparition progressive de ces poches que l'upwelling "migre" vers le nord . La conséquence de ces mécanismes sur le piégeage éventuel des poissons est en cours d'étude (Demarck et Samb, 1990).

Les images satellitaires présentent l'inconvénient de n'intéresser que la couche superficielle et d'être tributaires (pour la plupart des canaux) des conditions atmosphériques. Cet handicap n'existe pas avec les appareils enregistreurs qui se sont développés récemment: bouées de surface émettant vers les satellites ou appareils totalement immergés et localisables par hydro-acoustique). En parallèle à ces nouvelles possibilités technologiques, un réseau de collecte des informations météorologiques et hydrologiques s'est mis progressivement en place sur les navires marchands croisant sur tous les océans du globe. La conséquence de toutes ces innovations a été une vision planétaire et sur le long terme des phénomènes climatiques et des liaisons océan-atmosphère. Une conséquence pratique pour l'halieute à été la découverte de "téléconnexions" dans le système, qu'elles soient d'origine atmosphériques ou liées à l'existence d'ondes internes de basse fréquence (Merle, 1980; Servain *et al.*, 1982). Ces couplages trans-océaniques du climat sont toujours associés à des décalages temporels qui peuvent permettre un certain degré de prédiction. Cet avantage est intéressant pour utiliser

certains modèles bio-climatiques à des fins prédictives (Mendelssohn & Roy 1984).

Une autre retombée de la connaissance des téléconnexions climatiques réside dans l'éclairage qu'elles apportent sur l'étude à l'échelle mondiale du synchronisme des variations d'abondance des stocks de petits pélagiques côtiers. En effet l'analyse des séries temporelles de captures annuelles des grandes pêcheries mondiales de sardines (et autres clupéidés) sur plus d'un demi-siècle, montre des variations relativement synchrones ou décalées d'un nombre d'années correspondant aux différences d'âge moyen d'exploitation, ce qui laisse supposer que leur recrutement serait influencé par des phénomènes climatiques globaux (Crawford *et al.*, 1990). On a là un autre exemple de l'intérêt d'un élargissement de l'échelle spatio-temporelle d'analyse.

Dans le même ordre d'idée, l'étude comparative des stratégies démographiques connait un certain renouveau. Après une approche globale visant à établir une classification écologique générale dans le régne animal, on s'intéresse maintenant de plus en plus aux différences subtiles entre différents stocks mondiaux d'une même espèce, ou entre espèces proches par leur phylogenèse, ou encore entre des espèces différentes occupant des niches écologiques similaires. Cette approche permet de mieux comprendre les phénomènes régissant la régulation des stocks et leur occupation de l'espace. On trouvera des exemples chez Sainclair & Iles (1989) pour le hareng et à l'ORSTOM pour les sardinelles (Fréon, 1986; Cury & Fontana, 1989) ou d'autres espèces pélagiques côtières (Cury, 1989). Ce dernier travail aborde également l'influence comparative des pressions sélectives du milieu sur des espèces numériquement dominantes ou dominées.

LE POIDS DES TRADITIONS

Que ce soit au niveau de la collecte de l'information de base ou au niveau de l'analyse statistique, le choix de l'échelle spatiale ou temporelle est trop souvent conservateur, guidé par des traditions ou de vielles habitudes héritées d'autres disciplines.

On notera à ce propos qu'en l'absence d'analyse préalable les regroupements de données se font en utilisant des échelles temporelles calendaires (semaine ou quinzaine, mais plus souvent mois et année) et que l'on reste ensuite souvent prisonnier de ce choix initial. Or l'analyse objective des données montre bien souvent que, non seulement ces échelles ne conviennent pas, mais de plus que leur point d'origine (le premier jour du mois ou de l'année par exemple) se situe au milieu d'une période homogène. Ainsi au Sénégal la période d'upwelling commence début novembre et se termine fin juin, mais les données biologiques sont rarement analysées selon ce découpage.

Dans le même ordre d'idée, on constate trop souvent que la saisie informatique des données est encore effectuée en gardant en tête le schéma des imprescriptibles 80 colonnes des cartes perforées et des limites de l'informatique des années 60. De là résulte peut-être la persistance des pré-codages ou des regroupements des informations saisies, qui interdisent ensuite tout recodage ou analyse plus fine. Ainsi dans le cas des collectes de statistique de pêche la profondeur exacte est souvent codée en tranches bathymétriques, de même l'heure de pêche pourra être codée par tranches horaires, la zone de pêche est saisie sous la forme d'un numéro de carré statistique dont les limites ont été fixées arbitrairement (alors que la position exacte est disponible), les prises de divers coups de filet seront additionnées et regroupées sur un même enregistrement, etc.. Parfois des informations disponibles mais jugées d'intérêt secondaire ne seront pas saisies afin de ne pas "alourdir" le fichier (caractéristiques physiques des embarcations non immatriculées, état de la mer, turbidité, présence de bioluminescence, présence d'oiseaux de mer ou de bois flottants, prix de vente du poisson, destination, etc.).

Le matériel informatique actuel et les logiciels disponibles autorisent une saisie rapide (parfois automatique) et presque exhaustive de l'information puis une analyse à divers pas de temps et d'espace. Certains outils permettent d'ailleurs de définir de façon optimale ces pas, pour le jeu de données considéré. Trop souvent c'est encore l'outil statistique disponible qui définit le pas d'étude, si ce n'est l'échelle. En hydro-acoustique par exemple, on a pendant longtemps considéré que la variabilité intra-radiale était faible et homogène par rapport à la variabilité inter-radiale censée représenter l'essentiel de la source de variation, uniquement en raison de la disponibilité de formules adaptées à ce cas ("collapsed strata"), lequel semble être exceptionnel, comme le montre maintenant l'utilisation de la géostatistique (cf supra). De même nous avons vu qu'il était indispensable de définir le pas d'observation, permettant de regrouper le milliard d'observations correspondant à une campagne d'écho-intégration, en distance unitaire (ESDU). Or celle-ci a varié historiquement de 5 à 0.7 milles nautiques. Il est vraisemblable que le choix initial des pionniers norvégiens était lié à la graduation des cartes marines par 5 minutes d'arc de latitude. Cette distance est rapidement apparue trop élevée en milieu tropical, et les chercheurs FAO l'ont diminué de la moitié (2 milles pour faire un compte rond) à une époque où la saisie des données était manuelle. Ensuite la saisie automatique sur ordinateur a permis de ramener cette valeur à 0.7: cette réduction d'un facteur trois ou sept (pour 5 milles) ,s'il a pu être démontré *a posteriori* qu'elle améliorait la qualité des résultats, est en fait encore quelque peu arbitraire

LE NIVEAU D'APPREHENSION DES SYSTEMES

Les problèmes de changement d'échelle spatiale ou temporelle rejoignent en fait le niveau à partir duquel on cherche à appréhender un système: celui du poisson individuel ou celui d'un groupe d'individus pouvant aller du banc à la population, voire à une communauté écologique multispécifique; celui du pêcheur individuel ou celui d'une communauté (qui sera définie par rapport à un armement, un village, une ethnie, etc); celui des poissons ou celui de l'ensemble du système pêche; etc. Nous illustrerons encore ces niveaux d'appréhension par quelques exemples spécifiques, relativement indépendants des échelles spatio-temporelles.

Jusqu'à ces dernières années, les pêcheurs n'étaient inclus dans les modèles biologiques, bio-climatiques ou bio-économiques, que sous la forme d'un ou plusieurs groupes d'individus représentés par des variables décrivant leur effort de prédation sur le stock en fonction de divers paramètres liés à la puissance de pêche qu'il pouvaient développer. Des travaux récents ont montré que, aussi bien pour la pêche industrielle que pour les pêches artisanales, des stratégies individuelles de pêche existent, ou que les unités de pêche s'organisent en meutes pour prospecter le milieu et partager les risques de façon plus ou moins optimale. Ces différentes stratégies conditionnent fortement l'évolution de l'effort de pêche, son allocation spatio-temporelle et même le choix des engins et espèces cibles dans le cas complexe des pêches multispécifiques et multi-engins (Allen, 1990; Laloe et Samba, 1989). Dans le cas de la pêche artisanale du Congo, la stratégie de prospection est associée à une forte périodicité du nombre de sorties à l'échelle de la semaine: les ours de faible effort étant en priorité consacré à la prospection (Gobert, 1990).

On retrouve ces mêmes disparités au sein du groupe des pêcheurs lorsque l'on considère les conditions socio-économiques des différentes unités de pêche. Dans le cas de la pêche artisanale à la senne tournante au Sénégal, grâce à des enquêtes individuelles on a pu montrer qu'en dépit d'une très forte variabilité des revenus globaux des différentes unités de pêche, leurs "armateurs" étaient toujours en situation favorable pour réinvestir, même dans les cas ou les revenus des pêcheurs étaient ridiculement bas. Ceci ne pouvait être perçu par une étude macro-économique qui montrait que le secteur était en crise (Fréon & Weber, 1983).

Au départ, les modèles structuraux de dynamique des population ne prenaient en compte que les valeurs moyennes des paramètres du stock. En raison des incertitudes sur l'estimation de ces paramètres - liées à leur variabilité- on a vu se développer ces dernières années des modèles de simulation de stocks et des études de sensibilité visant à mieux appréhender l'importance relative des différentes erreurs (Pereiro & Pallares, 1984; Laurec & Mesnil, 1985). Mais parfois ce progrès n'était pas suffisant pour rendre totalement

compte des phénomènes observés. Il est alors paru nécessaire de modéliser non plus l'ensemble du stock, mais les individus qui le composent. Ainsi dans le cas des sardinelles du Sénégal, aucun modèle général ne pouvait expliquer comment une espèce à croissance rapide pouvait présenter pendant plusieurs mois consécutifs des modes stationnaires de distribution de fréquences de taille, dès lors que l'hypothèse d'un arrêt total de la croissance ne pouvait être retenue pour la saison considérée. On a dû alors avoir recours à une modélisation "individuelle" du stock (Fréon, 1986). En pratique on a considéré que le stock était constitué de plusieurs cohortes annuelles (2 à 4) constituées chacune de 300 "individus types" présentant des caractéristiques individuelles de croissance et de mortalité distribuées selon une loi statistique prédéfinie, et effectuant leur migration en fonction de leur âge. Chacun de ces individus type avait dans le modèle plusieurs centaines de milliers de "jumeaux homozygotes" afin d'obtenir une simulation d'une population grandeur nature. Cette approche a permis de reconstituer par essais successifs la stabilité modale observée sous certaines hypothèses, dont certaines ont été vérifiés directement (Fontana, (com. pers.) pour l'existence d'une reproduction dans une strate temporelle non observée jusqu'alors), ou indirectement (Kroger & Guthrie (1973) pour l'hypothèse d'un schéma de migration lié au stade de développement des individus sur une autre espèce de clupéidé marin).

Ces réflexions débouchent naturellement sur ce qui est supposé être à la base de toute la variabilité biologique, directement ou indirectement: la structure des populations. Les études d'identification des stocks par électrophorèse des enzymes ou par étude de l'ADN mitochondrial indiquent que dans bien des cas la variabilité inter-individuelle est au moins aussi importante que la variabilité inter-stock. Cela est le cas par exemple de l'anchois de Californie, étudié par Hedgecock *et al.* (1989). Toutefois ces mêmes auteurs donnent le contre-exemple de la sardine du Pacifique qui présente une faible variabilité, aussi bien intra que inter-stocks, en dépit de l'existence de fortes différences dans les tailles maximales observées dans ces différents stocks (de 17 à 25 cm). Ceci donne à penser que dans ce dernier cas la différenciation est directement induite par l'environnement, et non déterminée par la structure, contrairement à ce qui est généralement admis

CONCLUSION

Les exemples précédents ont montré qu'en halieutique et dans les disciplines qui s'y rattachent, on a toujours gagné, en termes de connaissance, en changeant d'échelle, que ce soit en allant plus dans le détail dans l'étude de l'une des composantes du système, ou au contraire en prenant du recul par rapport à l'objet de recherche en le resituant dans un ensemble plus vaste. Ces "effets de zoom" concernent aussi bien la dimension spatio-temporelle que la diversité des champs disciplinaires dans le cas de l'halieutique.

Dans un domaine où de longues séries chronologiques sont la plupart du temps nécessaires pour aboutir à une analyse pertinente, se pose le problème du type d'échantillonnage à mettre en place et de son pas spatio-temporel. Bien souvent il s'agit d'un problème de coût, et des efforts ont été fait depuis les années 70 pour chercher à optimiser l'allocation de l'échantillonnage (voir par exemple l'échantillonnage des tailles et des âges dans les captures; Abramson, 1971; Laurec, 1979; Fréon, 1985). Dans d'autres cas au contraire, une information relativement bon marché et détaillée est disponible, grâce à des appareils d'enregistrement en continu ou grâce à l'existence de catégories socio-professionnelles réalisant directement ou indirectement un travail d'échantillonnage volontaire (services administratifs des douanes, des pêches, etc) ou non (pêcheurs). Malheureusement cette mine d'information est parfois sous-exploitée du fait que la saisie de l'information ne se fait pas avec le pas spatio-temporel convenable.

Les raisons de cette sous-exploitation tiennent parfois à des habitudes héritées d'une époque durant laquelle les problématiques étaient différentes (souvent monodisciplinaires), et/ou les outils nécessaires à cette analyse étaient peu disponibles ou mal adaptés.

Parfois la période critique est difficile à déterminer, *a priori*, en particulier pour ce qui est de l'influence du climat sur l'abondance ou sur la capturabilité, et une approche exploratoire modélisatrice est nécessaire, faisant parfois appel au domaine non-linéaire. On aura alors recours à des techniques d'analyse des séries chronologiques suivies de simulations. On soulignera toutefois le risque que présentent ces techniques si elles sont mal maîtrisées (non prise en compte de la colinéarité des variable, de leur autocorrélation, de leur saisonnalité, etc).

De façon très générale le problème du changement d'échelle est étroitement lié au problème central de la plupart des sciences de la nature: identifier les sources de variabilité. L'exemple des stocks pélagiques côtiers montre qu'il ne faut pas nécessairement chercher cette source de variabilité à la même échelle et dans le même domaine (biologique) que celui où elle est observée. On a vu ainsi que les facteurs climatiques à petite échelle spatiale et surtout temporelle peuvent structurer l'abondance d'une classe d'âge sur plusieurs années, ou encore que des facteurs anthropiques peuvent être responsables des modifications des captures.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient D. Binet et Ph. Cury pour leurs suggestions.

BIBLIOGRAPHIE

ABRAMSON (N.J.), 1971 .- Computer programs for fish stock assessment. FAO Fish. Tech. Pap. 101 : 1-154.

ALLEN (P.), 1990. Influence of individual fishing strategy on fishing effort allocation (provisional title). in Impact des fluctuations environnementales sur la dynamique des stocks pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest, Ed. by Ph. Cury. ORSTOM, Paris (sous presse).

BELVEZE (H.), 1984.- Biologie et dynamique des populations de sardine *Sardina pilchardus* Walbaum peuplant les côtes atlantiques marocaines et proposition pour un aménagement des pêcheries. Thèse Université Bretagne Occidentale, Brest, France : 532 p.

BINET (D.) MARCHAL (E.) et PEZENNEC (O.), 1990.- *Sardinella aurita* de Côte d'Ivoire et du Ghana: Fluctations halieutiques et changements climatiques in Impact des fluctuations environnementales sur la dynamique des stocks pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest, Ed. by Ph. Cury. ORSTOM Paris (sous presse).

BINET (D.), 1982.- Influence des variations climatiques sur la pêcherie des *Sardinella aurita* ivoiro-ghanéennes : relation sécheresse surpêche. Océanologica Acta 5 (4) : 443-452.

BINET (D.), 1983.- French sardine and herring fisheries: a tentative description of their fluctuations since the eighteenth Century In: Int. Symp. Long Term Changes Mar. Fish Pop., Vigo, (Spain) (T. Wyatt and M.G. Larrañeta, Eds), Consejo Superior de Invetigaciones Cientificas: 253-272.

CAVERIVIERE (A.), GERLOTTO (F.) et STEQUERT B.), 1980.- *Balistes carolinensis* nouveau stock africain. La Pêche Maritime n° 1229-20 août 1980 : 466-471.

CRAWFORD (R.J.M.), UNDERHILL (L.G.), SHANNON (L.V.), LLUCH-BELDA (D.), SIEGFRIED (W.R.) and VILLACASTIN-HERERO (C.A.), 1990.- An empirical investigation of trans-oceanic linkages between areas of high sardine abundance. in Proceedings of the International Symposium on the Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment, 14-17 Nov. 1989, Sendai, Japan (under press).

CURY (Ph.), 1989.- Pressions selectives et nouveautes évolutives: une hypothèse pour comprendre certains aspects des fluctuations a long terme des poissons pélagiques côtiers. in Approches modélisatrices des relations à court, moyen et long terme entre la dynamique des stocks de poissons pélagiques côtiers et les fluctuations climatiques. Thèse de doctorat. Université de Paris 7: 197-242.

CURY (Ph.) and ROY (C.), 1987.- Upwelling et pêche des espèces pélagiques côtières de Côte-d'Ivoire: une approche globale. Oceanol. Acta, 10 (3): 347-357.

CURY (Ph.) and ROY (C.), 1989.- Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 670-680.

DEMARCQ (H.) et SAMB (B.), 1990.- Influence des variations rapide de l'upwelling sénégalais et de ses variations interannuelles sur la répartition des poissons pélagiques au Sénégal. in Impact des fluctuations environnementales sur la dynamique des stocks pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest, Ed. by Ph. Cury. ORSTOM, Paris, 21 p. (sous presse).

FREON (P.), 1983.- Production models as applied to sub-stocks depending on upwelling fluctuations, in : G. D. Sharp and J. Csirke (eds.). Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, FIRM/R 291 (3) : 1047-1064.

FREON (P.), 1985. - La variabilité des tailles individuelles à l'intérieur des cohortes et des bancs de poissons ; II : application à la biologie des pêches. Océanol. Acta, 8 (1): 87-99.

FREON (P.), 1986.- Réponses et adaptations des stocks de clupéidés d'Afrique de l'Ouest à la variabilité du milieu et de l'exploitation : Analyse et réflexion à partir de d'exemple du Sénégal. Thèse de doctorat d'état. Université Aix-Marseille : 287 p.

FREON, P. (1988).- Introduction of environmental variables into global production models. In: Int. Symp. Long Term Changes Mar. Fish Pop., Vigo, (Spain) (T. Wyatt and M.G. Larrañeta, Eds), Consejo Superior de Investigaciones Cientificas: 481-528.

FREON (P.) and (F). GERLOTTO - 1988a. Methodological approach to study the biases induced by the fish behaviour during hydro-acoustic surveys. Communication to ICES annual meeting, Bergen Sept. 1988, C.M. 1988/B:52:16p.

FREON (P.) and (F.) GERLOTTO - 1988b. Influence of fish behaviour on fish stock abundance estimations. ICES, Working group on Fisheries Acoustic Science and Technology, Ostende, Belgique, mai 1988. 7p.

FREON P., MULLON C. and PICHON G. - 1990. CLIMPROD: a fully interactive expert-system software for choosing and adjusting a global production model which account for changes in environmental factors. International Symposium on the Long-term Variability of Pelagic Fish Populations and their Environment. 14-18 nov. 1989, Sendai, Japan.

FREON, (P.), (M.) SORIA and (F.) GERLOTTO, 1989. Short-term variability of *Sardinella aurita* aggregations and consequencies on acoustic survey results. ICES/FAST Work. Group Meet. Dublin, Ireland, 26-28 april 1989: 16

FREON, (P.), (M.) SORIA and (F.) GERLOTTO, 1990. Changes in the fish school structure according to external stimuli. ICES/FAST W.G., Rostock, april 1990: 10p.

FREON (P.) et STEQUERT (B.); 1979. - Note sur la présence de *Sardina pilchardus* (Walb.) au Sénégal : étude de la biométrie et interprétation. Cybium, 3 (6) : 65-90.

FREON (P.) et WEBER (J.), 1985. - Djifère au Sénégal : la pêche artisanale en mutation dans un contexte industriel. 1ère partie : le milieu, la senne tournante, son impact national. 2ème partie : conséquences d'une innovation technique sur l'organisation économique artisanale. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 47 (3-4), 1983 : 261-304.

GERLOTTO, F., 1989. Choix d'une stratégie d'échantillonnage et de stratification en écho-intégration. ICES/FAST Work. Group Meet. Dublin, Ireland, 26-28 april 1989: 38

GERLOTTO F. and P. FREON - 1988. Influence of the structure and behaviour of fish school on acoustic assessment. ICES, annual meeting, Bergen, Sept. 1988, C.M. 1988/B:53 : 28P.

GOBERT (B.), 1990.- Variabilité de l'activité de pêche aux filets maillants de surface par les pêcheurs artisans béninois de Pointe Noire (Congo). in Impact des fluctuations environnementales sur la dynamique des stocks pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest, Ed. by Ph. Cury. ORSTOM, Paris (sous presse).

GOHIN (F.), 1985.- Geostatistics applied to fish distribution as derived from acoustic surveys. ICES/FAST Working Group Meet., Tromso, May 22-24 1985: 6

GOY (J.), MORAND (P.) and ETIENNE (M.), 1989.- Long-term fluctuations of *Pelagia noctiluca* (*Cnidaria, Scyphomedusa*) in the western Mediterranean Sea. Prediction by climatic variables. Deap-Sea Research, 36 (2): 269-279.

GUILLARD (J.), GERDEAUX (D.) and CHAUTRU (J.M.), 1987.- The use of geostatistics for abundance estimation by echointegration in lakes: the example of lake Annecy. Int. Symp. Fish. Acoustics, June 22-26, 1987, Seattle, USA: 17

HEDGECOCK (D.), HUTCHINGSON (E.S.), LI (G.), SLY (F.L.) and NELSON (K.), *1989.- Genetic and morphometric variation in the Pacific sardine, Sardinops sagax caerulea*: Comparison and contrasts with historical data and with variability in the Northen anchovy, Engraulis mordax. Fish. Bull. U.S., 87: 653-671.

KROGER (R. L.) et GUTHRIE (J. F.), 1983.- Migrations of tagged juvenile Atlantic Menhaden. Trans. Amer. Fish. Soc., 102 (2): 417-422.

LALOE (F.), 1985.- Contribution à l'étude de la variance d'estimateurs de biomasse de poissons obtenus par écho-intégration. Océanogr. Trop. 20 (2): 161-169.

LALOE (F.), 1989.- Un modèle global avec quantité de biomasse inaccesible liée aux conditions environnementales: application aux données de la pêche ivoiro-ghanéenne de *Sardinella aurita*. Aquat. Living. Resour., 1: 289-298.

LALOE (F.), et SAMBA (A.), 1989.- La pêche artisanale au Sénégal: ressource et stratégies de pêche. Thèse doctorat, Université de Paris-sud: 461 et annexes.

LAUREC (A.), 1977.- Analyse et estimation des puissances de pêche J. Cons. int. Explor. Mer, 37 (2); 173-185.

LAUREC (A.), 1979.- Analyse des données et modèles prévisionnels en écologie marine. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille: 248 p. et annexes.

LAUREC (A.) et LE GUEN (J.C.), 1977.- c.p.u.e. des senneurs et abondance; impact des structures fines. Rec. Doc. Sci. ICCAT, 8 : 30-54.

LAUREC (A.) et MESNIL (B.), 1985.- Rendement par recrue et analyse des cohortes de Jones: étude de sensibilité. Cons. Int. Explor. Mer C.M. 1985/G: 23 p. (miméo).

LLANO (M.) CARDENAS (J.), MAYZ (L.), GUEVARA (P.), ARMAS (A.), FREON (P.), KIMBERLEY (M.) y ABU-JABER (N.) - 1990. Elementos biogénicos de los sedimentos de la fosa de Cariaco y los recursos icticos del Nororiente Venezolano. In: Congreso Latinoamericano sobre ciencas del mar, Cumana, Octubre 1989 (sous presse).

MATHERON (G.), 1965. Les variables régionalisées et leur estimation. Masson et Cie, Paris: 305

MENDELSSOHN (R.) and CURY (Ph.), 1987.- Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivoirian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44 : 408-421.

MENDELSSOHN (R.) and ROY (C.), 1984.- Remote forcing of sea surface temperature and tuna fishery variations in the gulf of Guinea. Tropical ocean-atmosphere newsletter, 26: 5-7.

MERLE (J.), 1980.- Variabilité thermique annuelle et interannuelle de l'Océan Atlantique Equatorial Oriental, l'hypothèse d'un El Niño atlantique. Océanol. Act., 3 (2) : 209-220.

PARRISH (R.A.), BAKUN (A.), HUSBY (D.M.) and NELSON (C.S.), 1983.- Comparative climatolOgy of selected environmental processes in relation to eastern boundary current pelagic fish population in : G. D. Sharp and J. Csirke (eds.). Proceedings of the expert consultation to examine changes in abundance and species composition of neritic fish resources, FAO, FIRM/R 291 (3) : 731-777.

PEREIRO (J.A.) and PALLARES (P.), 1984.- Consequences of introducing errors in the value of input parameters in the length distribution analysis (R. Jones), as applied to the northern stock of hake. Cons. Int. Exopl. Mer C.M. 1984/G 61: 17. (mimeo).

PIERRE (J.S.), GUILLOME (M.) et QUERRIEN (M.T.), 1986.- Une méthode statistique et graphique de recherche des périodes de l'année où les populations animales sont particulièrement sensibles à une composante donnée du climat (périodes critiques): Application au cas des pucerons des céréales. Acta Oecol. gener. 7 (4): 365-380.

PITCHER (T.J.), 1985.- Functions of shoaling behaviour in teleosts. in: The behaviour of teleosts fishes (Pitcher T.J. ed.), Croom Helm, London: 294-337.

REBERT (J.P.), 1979.- Un essai d'interprétation de l'influence des conditions de milieu sur les rendements de la pêche industrielle dakaroise de *Sardinella aurita*, in : Rapport du groupe de travail ad hoc sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Libéria (26° N à 5° N). COPACE/PACE Series/78/110 (F) : 165 p.

ROY (C.), 1990.- Vous avez-dit upwelling? in Impact des fluctuations environnementales sur la dynamique des stocks pélagiques côtiers en Afrique de l'Ouest, Ed. by Ph. Cury. ORSTOM, Paris (sous presse).

SEDYKH (K.A.), et al. 1979.- Etude de l'upwelling près de la côte de l'Afrique du nord-ouest par l'Institut Atlantique de Recherches Scientifiques de l'Industrie de la Pêche et de l'Océanographie, in : Rapport du groupe de travail ad hoc sur les poissons pélagiques côtiers ouest-africains de la Mauritanie au Libéria (26°N à 5°N). COPACE/PACE Series 78/10.

SERVAIN (J.), PICAUT (J.) et MERLE (J.), 1982.- Mise en évidence d'un couplage à longue distance entre le vent et la température de surface dans l'Atlantique Equatorial. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 294 : 4 p.

SIMARD (Y.) and (F.) GERLOTTO, 1990.- Exploration of the applicability of geostatistics in fisheries acoustics. CIEM/ICES Working group on Fisheries Acoustic Science and Technology Rostock, April 1990: 27 p.

SINCLAIR (M.) and ILES (T.D.), 1989.- Population regulation and speciation in marine teleosts. Journal du Conseil 45 (2): 165-175.

SHARP (G.D.), 1980.- Workshop on the effects of environmental variation on the survival of larval pelagic fishes. Lima, 29 april-5 may 1980. IOC-UNESCO Workshop Report, 28 : 323 p.

SOUTAR (A.), and ISAACS (J.D.), 1974.- Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. Fish. Bull. U.S., 72 (2) : 257-273.

WEIHS, (D.), 1973. Hydromechanics and fish schooling. Nature, London, 241: 290-291.