



INSTITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE
POUR LE DÉVELOPPEMENT EN COOPÉRATION

**Centre
de
Montpellier**

L'OCCUPATION DE L'ESPACE
PAR LES POPULATIONS
D'ORGANISMES MARINS :
DESCRIPTION ET IMPACT
SUR LES ÉVALUATIONS ACOUSTIQUES.
RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL

(THONON-LES-BAINS, 29/4 - 3/5/1991)

L'OCCUPATION DE L'ESPACE
PAR LES POPULATIONS D'ORGANISMES MARINS :
DESCRIPTION ET IMPACT
SUR LES ÉVALUATIONS ACOUSTIQUES.
RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL

(THONON-LES-BAINS, 29/4 - 3/5/1991)

Les opinions exprimées dans ce document
n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

DEFINITION DES THEMES DE REFLEXION

I. STRUCTURE PHYSIQUE ET ORGANISATION SPATIALE DES ECHOS

Introduction

1. Structures à déterminisme biologique strict
2. Structures à déterminisme physique dominant
3. structures à déterminisme mixte
4. Problématique et perspectives

II. LES VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES

1. Définition du problème
 - A. Bilan
 - B. Problèmes liés
 - C. Les solutions
2. La dépollution des données
 - A. Le rapport jour/nuit
 - B. La variabilité instantanée

III. LE PROBLEME DES ESPACES INACCESSIBLES

1. Les eaux superficielles
2. les petits fonds

BILAN ET CONCLUSIONS

ANNEXE 1. LISTE DES PARTICIPANTS

ANNEXE 2. LISTE DES COMMUNICATIONS PRESENTEES

ANNEXE 3. RESUMES ET FIGURES DES COMMUNICATIONS PRESENTEES

L'OCCUPATION DE L'ESPACE PAR LES POPULATIONS
D'ORGANISMES AQUATIQUES: DESCRIPTION ET IMPACT SUR LES
EVALUATIONS ACOUSTIQUES

RAPPORT DU GROUPE DE TRAVAIL

(Thonon-les-Bains, 29/4-3/5/1991)

INTRODUCTION GENERALE

Les organismes aquatiques, tant en mer qu'en eau douce, ne sont pas répartis uniformément ni au hasard, mais de façon agrégée à toute les échelles spatiales, du mètre aux centaines de kilomètres. Cette occupation contagieuse de l'espace résulte des préférences physiologiques des espèces et de l'organisation spatiale des caractéristiques de l'environnement. Elle est modulée par des variations temporelles qui affectent de façon cyclique, continue ou sporadique ces déterminants de l'organisation spatiale.

A petite échelle (10^0 - 10^3 m) les interactions intra et inter-spécifiques entre les organismes (e.g. interactions prédateurs-proies) ainsi que les micro-structures physiques déterminent l'occupation de l'espace. A moyenne échelle (10^3 - 10^6 m) les structures résultent des comportements collectifs des organismes face à des besoins physiologiques communs (nutrition, reproduction) et des structures de l'environnement liées à des gradients, des accidents topographiques, la présence de fronts, tourbillons, d'ondes internes, de panaches, etc.. A grande échelle ($> 10^6$ m) les limites de tolérances des organismes aux gradients environnementaux, ainsi que les grandes migrations saisonnières de certaines espèces, sont responsables des structures spatiales.

Ces structures spatiales sont des caractéristiques fondamentales des écosystèmes qui sont encore bien mal comprises. L'acoustique est un outil qui permet de les décrire précisément, aidera à mieux comprendre leur déterminisme et, ainsi, le fonctionnement de ces écosystèmes.

Un groupe de travail rassemblant des chercheurs de 5 pays s'est constitué autour de cette préoccupation. La langue du groupe est le français. Une première réunion de ce groupe a eu lieu à la station hydrobiologique de l'INRA à Thonon (Haute-Savoie) du 29 avril au 3 mai 1991. L'objectif de cette réunion était double: d'une part regrouper les chercheurs utilisant l'acoustique comme outil d'observation, pour qui le problème des structures spatiales est essentiel, d'autre part délimiter le champ de l'investigation et définir des objectifs de recherche plus détaillés à l'intérieur de ce champ. dans ce but la réunion a présenté 3 parties qui sont reprises dans ce rapport :

- présentation de communications sur les thèmes de la structure spatiale. Ces présentations ont permis de faire un tour d'horizon des préoccupations des chercheurs et ont fourni les éléments de réflexion pour définir les thèmes de recherche. Les résumés et les figures essentielles des communications sont regroupés en annexe;

- définition des principaux thèmes de réflexion;

- en sous-groupes, analyse de ces thèmes et propositions de voies de recherche à l'intérieur de chacun d'eux.

DEFINITION DES THEMES DE REFLEXION

Les présentations ainsi que les discussions subséquentes ont fait ressortir un grand nombre de préoccupations diverses reliées à la répartition des échos et ses variations dans le temps. Notons par exemple, les difficultés d'estimation des stocks résultant de la répartition très contagieuse des poissons et des variations de répartition dans le temps; la répartition des poissons dans des zones inaccessibles; l'interprétation de la variabilité interannuelle en fonction des variations de climat; la mise en évidence de la relation complexe entre la répartition des échos et les structures des variables environnementales; l'identification de structures spatiales définissant des prototypes d'espèces ou d'assemblage d'espèces. On y distingue deux aspects principaux de l'occupation de l'espace:

- la variabilité de la répartition des échos dans l'espace et dans le temps;
- le déterminisme des structures spatiales observées et les outils numériques d'analyse.

Les conclusions des discussions des deux groupes qui se sont penchés sur ces questions sont résumées ci dessous. Enfin une petite description d'une réflexion commune sur les problèmes liés aux zones inaccessibles par les méthodes acoustiques courantes est également présentée en troisième partie.

I - STRUCTURES PHYSIQUES ET ORGANISATIONS SPATIALES DES ECHOS

INTRODUCTION

La répartition n'est pas aléatoire. On retrouve les structures agrégées qui sont le signe de bancs de poissons ou d'essaims denses de plancton. On constate également que selon la profondeur et la localisation géographique il y a des structures très marquées (nécessité d'un découpage en zones).

Il existe une structure très contrastée selon la profondeur et la permanence des structures à grande échelle sur l'horizontale. Le caractère spectaculaire de cette organisation suggère une convergence des réponses d'assemblages d'organismes très divers (petite taille, grande taille, plancton, necton, poissons...) à des phénomènes externes dont l'identité est encore mal identifiée à ce jour.

La répartition discontinue des organismes contrastant avec la répartition continue des paramètres du milieu, rend délicate la mise en évidence de ces relations. Des situations caractéristiques ont été cependant reconnues et interprétées par des changements internes aux populations (variations nycthémerales, variations saisonnières). Par contre, des phénomènes spatio-temporels à diverses échelles montrent une complexité résultant de l'interférence entre les changements de l'environnement et les possibilités adaptatives des organismes.

Après avoir décrit rapidement quelques situations types nous essaierons de faire le point sur les aspects auxquels se heurtent nos interprétations. Nous évoquerons le problème des stratégies d'échantillonnage, du choix des descripteurs, et des méthodes de traitement numérique.

1. STRUCTURES A DETERMINISME BIOLOGIQUE STRICT

a) Migrations nycthémérales

Même sans la visualisation par les échogrammes, les migrations verticales nycthémérales chez les organismes aquatiques ont été constatées de longue date. Cette migration correspond soit à des besoins physiologiques, soit à des comportements inter-spécifiques. Associée à des captures régulières au cours du cycle, l'acoustique permet de suivre le phénomène en temps réel. Grâce aux images dérivées de l'acoustique, la localisation des prélèvements peut être ajustée aux mouvements verticaux. L'analyse des caractéristiques des échos par l'analyse d'image, l'analyse multifréquence, l'analyse par sondeurs à faisceau partagé ("dual beam" ou "split beam"), pourrait sans doute apporter des informations quant aux changements d'orientation des organismes et au mode de répartition des populations au cours des différentes phases du phénomène.

b) Variations saisonnières

A l'instar du comportement nycthéméral la physiologie de la reproduction de la plupart des espèces conduit à un changement notable du mode d'occupation de l'espace. Que ce soit dans les lacs ou en zone marine, la période de reproduction est marquée sur la verticale par un changement de dispersion des échos. Egalement, des migrations horizontales importantes sont reconnaissables; elles font intervenir les possibilités de nage active des poissons ou le transport passif des organismes par les courants. Ainsi, par exemple, des migrations verticales des organismes dans le cas de régimes de circulation stratifiée sont à l'origine d'agrégation dans des lieux privilégiés. Dans la mesure où une identification automatique des cibles deviendrait plus fiable (par exemple en multifréquence) l'acoustique pourrait révéler les déplacements liés au cycle annuel de certaines espèces. On pourrait alors envisager un suivi précis des migrations même chez les catégories d'organismes trop fragiles et impossibles à marquer.

2. STRUCTURES A DETERMINISME PHYSIQUE DOMINANT

a) Discontinuités physiques

L'agrégation préférentielle des organismes est reconnaissable au voisinage des fortes discontinuités physiques tant sur le plan horizontal que sur le plan vertical.

Sur la verticale la pénétration de la lumière délimite une couche de forte production organique où se concentrent herbivores et carnivores, et qui se traduit par de fortes détections acoustiques. La thermocline et la pycnocline constituent en outre une zone de concentration de nourriture attractive pour les espèces, mais également une barrière thermique infranchissable pour certains organismes. Dans les lacs, les fjords et en mer les oxyclines peuvent aussi entraîner une ségrégation spatiale stricte sur la verticale. les ondes internes ont pour effet d'agréger les organismes de façon spatialement périodique.

Dans le plan horizontal les discontinuités des zones frontales (fronts estuariens, fronts de marées, fronts de talus, fronts thermiques, fronts halins) opèrent une sélection dans les peuplements. Ainsi en mer Ligure les espèces méso-planctoniques ne se retrouvent pas au-delà de la limite du front de densité (environ 30 milles de la côte).

La superposition des isolignes et des paramètres physiques montre clairement l'impact des structures hydrologiques sur la répartition des échos. Cependant, étant donné la fréquence insuffisamment élevée des enregistrements physiques, une grande prudence doit être prise si l'on cherche à relier numériquement les valeurs des paramètres externes et l'intensité des échos. En ce qui concerne les fronts, les structures sont plutôt des méandres d'où nécessité pour comprendre les phénomènes de disposer d'observations répétées.

b) Changements erratiques

Des événements météorologiques brutaux (tempêtes) vont se traduire par une déstabilisation radicale des répartitions des organismes résultant en un déséquilibre éphémère avec un retour rapide aux structures initiales. Néanmoins le réseau d'interactions inter-spécifiques ne se rétablit pas aussi rapidement. Les structures à méso-échelles sont facilement repérables par acoustique et l'écho pourrait servir à valider des modèles explicatifs de la répartition des organismes.

c) Gradients spatio-temporels

*** Gradient spatial**

L'écho-sondage reconnaît systématiquement la variation de biomasse liée à la bathymétrie (gradient côte-large, accident topographique). Ce gradient, qui affecte la plupart des descripteurs physiques, est cependant modulé par l'apparition d'upwelling saisonniers ou temporaires plus ou moins prévisibles.

Par contre, bien que les paramètres physiques (salinité, densité, température, oxygène, lumière) présentent un gradient surface-fond évident, les échogrammes n'expriment pas de tendance générale monotone, croissante ou décroissante, vis à vis de la profondeur.

*** Gradient temporel**

Les rares séries pluriannuelles sur le plancton et le benthos ont montré que des variations faibles mais continues de température pourraient avoir des répercussions sur l'écosystème tout entier. Pour suivre ces tendances à long terme l'acoustique pourrait fournir des séries temporelles d'enregistrements (à point fixe en continu, ou selon des quadrillages répétés au cours de l'année).

3. STRUCTURES A DETERMINISME MIXTE

En dehors des cas précédents les structures spatiales sont le plus souvent mises en place par une action combinée des comportements des organismes et des contraintes ou ressources de l'environnement. Ainsi, le cycle lunaire, notamment en zone tropicale, va moduler l'amplitude des changements de répartitions spatiales (migrations nyctémérales, migrations de reproduction). Le phototropisme peut interférer avec une circulation verticale des masses d'eau et créer des zones de concentration ou de raréfaction (zone de convergence et divergence, remontées à la tête des fjords et des estuaires). Des compartiments hydrologiques peuvent à certaines saisons constituer des zones impénétrables pour certaines espèces. On observe ainsi des copépodes qui utilisent la zone frontale de mer Ligure comme nurserie pour les juvéniles, alors que les adultes désertent ces zones après la ponte... Dans le cas de ces interactions, causes externes-réponses spécifiques, l'approche qualitative par les échogrammes est peut être la seule possible, compte tenu de la complexité des

relations entre paramètres nécessaires à l'élaboration d'un modèle.

4. PROBLEMATIQUE ET PERSPECTIVE

a) Optimisation de l'échantillonnage

* Fréquence d'acquisition des mesures : Pour comparer les variations des paramètres avec la répartition des échos il faudrait une plus grande fréquence d'acquisition des mesures physiques dans le plan vertical (généralisation des capteurs, yo-yo, "tow-yo", palanquée de capteurs à différentes profondeurs).

* Cohérence spatio-temporelle : déduite des parcours aller-retour elle peut servir à détecter des déplacements et des transformations de structures.

* Etendues spatio-temporelles : dans les zones frontales le parcours doit explorer au minimum quatre directions de l'espace si l'on veut reconnaître les méandres de la structure hydrologique.

b) Optimisation de l'identification

L'optimisation technique de la description passe par des systèmes à plusieurs fréquences et à plusieurs transducteurs et par la possibilité éventuelle de corrélérer les propriétés géométriques des taches de l'échogramme avec des assemblages faunistiques particuliers. Cette optimisation est essentielle pour le suivi spatio-temporel des populations et la connaissance de leur répartition fine au voisinage des interfaces écologiques.

c) Optimisation de l'analyse numérique

La modélisation des relations entre les données du sondeur et les variables environnementales est délicate en raison de la nature discontinue des échos. Le caractère intermittent des taches et des couches diffusantes donne à penser que le plan d'observation n'est peut être pas le plus adéquat pour identifier leur lien avec les paramètres physiques. Transposer les échos dans l'espace défini par ces facteurs physiques a l'avantage de résoudre le problème de l'intermittence. Dans la mesure où l'on aura identifié une espèce, on pourra ainsi essayer de définir sa niche écologique au sens du rang qu'elle occupera dans les variations des descripteurs physiques observés.

La comparaison des échogrammes nécessite la prise en compte des caractéristiques structurales et non des valeurs absolues des intensités. Ainsi, l'analyse d'image, les techniques de reconnaissance des formes, pourraient aboutir à la définition de prototypes et permettre de tester les similitudes structurales entre les enregistrements.

II - LES VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES

1. DEFINITION DU PROBLEME

Le premier point consiste bien sûr à définir le plus clairement possible les termes qui vont être utilisés.

- **variation et variabilité.** Il s'agit dans les deux cas d'un changement dans le temps de la valeur d'un paramètre mesuré. Dans le cas d'une variation ce changement est déterminé par un facteur quelconque évoluant dans le temps, il peut être considéré comme relativement régulier et prédictible. Dans le cas de changement à échelle de temps importante, cette variation est assimilable à une dérive. La variabilité est un changement de valeur du paramètre qui est plutôt de nature aléatoire. Nous allons néanmoins dans cette présentation donner une définition légèrement différente aux termes: nous utiliserons "variation" comme terme général incluant tous les types de changements des valeurs dus au temps, et "dérive" dans l'acception d'un changement déterministe. "Variabilité" conservera la définition présentée ci-dessus.

- **reproductibilité.** Ce concept est en général considéré comme implicite. Il s'agit de la capacité d'un système à répondre par les mêmes effets aux mêmes causes. Il apparaît là un problème évident dans les études temporelles, dans la mesure où aucun retour en arrière sur cet axe n'est possible. Les observations de caractère environnementaux et biologiques d'une part (= cycliques) et comportementaux d'autre part, sont assez peu sensibles à ce phénomène, et dans la plupart des cas la reproductibilité des observations est satisfaisante. En revanche pour d'autres types d'observation il y a peut-être là une limitation à l'applicabilité de certaines formes de l'acoustique spatiale (cartographie, etc), si l'on ne peut considérer comme instantanée l'observation dans l'espace. Ceci démontre l'importance et le champ d'application de la dépollution des données de l'influence du temps.

- **vieillessement.** Le cadre de nos préoccupations exclue évidemment l'effet du temps sur les populations biologiques qui est le vieillissement: nous considérons ici que les animaux observés pendant une campagne n'ont pas subi d'évolution biologique. Ceci n'est pas toujours vrai dans le cas d'espèces à cycles de vie très court, en particulier le plancton, ainsi que dans celui de l'évolution hydrologique des masses d'eau.

- **échelle.** La définition de l'échelle ne pose évidemment pas de problème en général et il est bien connu que les phénomènes observés sont extrêmement dépendants de l'échelle d'observation. En particulier la reproductibilité est de plus en plus incomplète lorsque l'échelle diminue. Ceci est également valable pour le temps: bien que l'écoulement du temps soit considéré dans notre système de réflexion comme linéaire, donc à vitesse constante, l'échelle d'observation a une influence importante sur les résultats des observations. En outre l'échelle à laquelle est observé un paramètre dans une dimension (surface par exemple) peut avoir des conséquences sur les résultats d'observation dans la dimension temporelle. Enfin des méthodes et des outils différents devront probablement être appliqués pour des échelles différentes.

A. BILAN

Les variations spatio-temporelles relèvent de plusieurs dynamiques et échelles et peuvent être cycliques (rythmes), continues (dérives), de type aléatoires (variabilité) ou événementielles (c'est à dire à occurrence imprévi-

sible, mais à évolution prévisible une fois l'événement en route).

- rythmes : saisonniers
 lunaires
 circadiens (nycthéméral)
 marée, etc..
- dérives : inter-annuelles
- variabilité : intra-campagne
- événements : par exemple phénomènes météorologiques

Dans le cadre de l'occupation de l'espace, nous ne retenons que les "variations" pouvant affecter l'évaluation. Les rythmes saisonniers et lunaires sont à prendre en compte pour le choix de la période : situation établie et aussi stable que possible pour la saison, nouvelle lune ou pleine lune pour le cycle lunaire. Si ces conditions ne peuvent être remplies (par exemple campagnes de longue durée dépassant un demi cycle lunaire), l'évolution de la portion de cycle pendant laquelle se déroule la campagne devra être considérée comme une dérive qu'il faudra prendre en compte. La variation inter-annuelle est généralement ce que l'on cherche à mettre en évidence et n'interfère évidemment pas sur les conditions de l'évaluation. Restent donc la variation due au rythme nycthéméral et la variabilité intra-campagne induite par la non-instantanéité de l'évaluation.

On se propose donc de rechercher les méthodes permettant de "dépolluer" les données et/ou les stratégies permettant de limiter l'action de la variation en essayant de distinguer ce qui relève d'un biais de ce qui relève d'une variabilité vraie (assimilable à un bruit).

On s'intéressera enfin à l'applicabilité des méthode d'analyse, notamment au rôle du temps dans l'extrapolation d'un modèle uniquement spatial.

B. PROBLEMES LIES

Deux types de problèmes rendent l'analyse de la composante spatiale difficile à étudier sous une forme "pure": le rôle de l'espace et celui des populations.

- l'espace. Son intervention se situe à deux niveaux: d'une part il est évident que la composante spatiale est indissociable du temps lors du déroulement d'une campagne acoustique, donc que les parts respectives de la variabilité dues à ces deux composantes sont difficiles à séparer; d'autre part les conditions spatiales (= géographiques) d'une zone ont un impact sur la durée des phénomènes qui s'y déroulent : les vitesses de réaction des organismes dans une zone à petits fonds est certainement différente de celles d'organismes de même type en plein océan; les réactions en lac et en mer sont probablement aussi différentes.

- l'influence des types de populations est également à prendre en considération: dans une population multispécifique des rythmes comportementaux différents peuvent apparaître en réponses aux cycles externes (migration, rythme nycthéméral différents, etc..).

C. LES SOLUTIONS

On s'attachera enfin à définir les types de solutions qui peuvent être envisagées pour permettre la "dépollution" des campagnes. Ces solutions peuvent être d'ordre méthodologiques et faire appel à des expérimentations préalables, ou stratégiques et nécessiter des analyses des données afin de déterminer quelles transformations un plan de campagne doit subir pour être moins dépendant des rythmes et variations temporelles. Certaines de ces solutions existent, d'autres sont à définir.

2. LA DEPOLLUTION DES DONNEES

A. LE RAPPORT JOUR/NUIT

Les cycles nycthéméraux sont les plus simples à mettre en évidence et à isoler. La première méthode consiste à calculer un rapport global entre données de jour et de nuit et à l'appliquer sur l'ensemble des données d'une campagne. Ceci revient à utiliser les caractéristiques des données d'une partie du cycle (en général la nuit) comme référence et à interpoler ces valeurs à partir de celles de l'autre partie du cycle. Ceci est parfois utilisable en cartographie. En revanche il est impossible d'effectuer ce type d'interpolation pour des calculs de biomasse, les différences entre données de jour et de nuit étant de nature et non de valeur.

Si l'on considère séparément les données de jour et de nuit, un problème important apparaît: on observe en général une forte différence entre les mesures de densité moyenne entre jour et nuit, celles de nuit étant très supérieures. Ce phénomène est observé de façon très générale, quel que soit le milieu et les populations. Plusieurs explications sont proposées, toutes réalistes: comportement du poisson (évitement différentiel, migrations verticales d'une partie de la biomasse), apparition de populations différentes entre jour et nuit (stocks démersaux, plancton, etc..). Mais l'universalité du phénomène et son importance sont en contradiction avec la relative modestie des effets proposés.

Une explication intéressante a été proposée, dépendante des types de distribution des densités de jour et de nuit. En général l'histogramme de distribution des données de jour est beaucoup plus asymétrique que celui des densités nocturnes (présence le jour de quelques rares et très fortes valeurs). Dans la mesure où l'échantillonnage est de même intensité de jour et de nuit, la probabilité de trouver ces densités très fortes est faible, et aboutit à une sous-estimation systématique des densités diurnes. Une série d'essais devra permettre de vérifier si cette hypothèse est raisonnable (comparaison des histogrammes des densités de jour et de nuit sur une même période et relation avec la densité moyenne mesurée) et éventuellement de définir un modèle permettant de corriger les densités de jour de cette sous-évaluation. Une autre solution, qui a été envisagée, consiste à augmenter l'échantillonnage de jour, en particulier en regroupant des campagnes annuelles. Ceci ne peut être valable dans la mesure où la dérive inter-annuelle, que l'on cherche, introduit un biais dans les résultats. Enfin il ne faut pas oublier que cette hypothèse n'est pas exclusive des autres raisons proposées, et une connaissance approfondie du comportement et de la dynamique de changement des structures spatiales est indispensable. Dans cette optique la connaissance de la composition spécifique des populations est primordiale, ainsi que le déterminisme des structures comme il a été décrit dans la première partie de ce document.

Plusieurs jeux de données ont été sélectionnés (lac d'Annecy, micronection de l'Atlantique équatorial, stock de sardinelles du Vénézuéla, Petite Côte du Sénégal). Des analyses de ces données devraient donner des éléments de réponse.

B. LA VARIABILITE INSTANTANEE

Il s'agit des changements dans la densité et la distribution que l'on observe en revenant après un intervalle de temps donné sur le même point. Cette variabilité peut avoir deux causes: soit les structures ont changé de forme, soit les animaux se sont déplacés dans l'espace. Une série de répétitions sur 24 heures d'une radiale dans le golfe de Cariaco (voir les présentations en annexe) a montré que les différences de densité et de distribution pouvaient être considérables.

En considérant l'impact de ces variations sur les évaluations et la cartographie des biomasse, le jugement a été tempéré, et cette variabilité temporelle n'est peut-être pas partout aussi dramatique qu'il y paraît. En effet on peut considérer que le facteur essentiel de variabilité est la vitesse de déplacement des structures par rapport à celle du bateau. Les structures se déplacent soit passivement dans la masse d'eau, donc à vitesse généralement lente (1 noeud maximum), soit de façon autonome par la nage, et un banc avance en général à 1 ou 2 noeuds. La vitesse du navire est de 7-10 noeuds, donc très supérieure. Encore que dans le sens perpendiculaire aux radiales cette vitesse puisse être beaucoup plus réduite (en fonction de la longueur des radiales et de l'espacement inter-radiales). On voit qu'il est indispensable de considérer l'impact de cette variabilité à différents niveaux.

- au niveau de l'analyse de la structure. Les données recueillies le long d'une radiale sont continues dans le temps et l'espace, et la dimension spatiale est observée à une fréquence bien plus grande que la dimension temporelle: le facteur spatial est largement dominant: si l'on peut admettre qu'au cours d'un long transect les images du début ont dérivé dans le temps par rapport à celles de la fin, à courte distance le temps peut être considéré comme négligeable. En outre la dérive spatiale, si elle affecte la description spatiale à grande échelle des structures, ne doit pas avoir d'influence sur la description à petite échelle. Le début du variogramme calculé sur une radiale, par exemple, doit être une description des structures indépendante du temps.

- au niveau des relations entre les différentes structures dans l'espace, le problème est probablement identique si l'on considère la direction parallèle à la radiale, et sous certaines conditions l'effet de la variabilité temporelle peut être relativement faible. Dans le sens perpendiculaire aux radiales le problème est certainement beaucoup plus important.

- au niveau de la cartographie aussi le problème est certainement très important, et peut prendre deux formes:
lorsqu'il y a déplacement (migration) au cours de la campagne, les structures se sont déplacées entre le début et la fin de la prospection et l'image obtenue est brouillée par ce déplacement.
lorsqu'il y a eu retour du navire sur un point de prospection, les valeurs étant différentes au même point, les résultats de l'analyse de la somme des échantillons seront brouillés de la même façon.

La réflexion n'a cependant pas abouti à des conclusions nettes sur l'impact de la variabilité temporelle sur les données, et en particulier l'effet sur la moyenne n'a pas été élucidé. Des études sur des données de campagnes (avec retour sur les mêmes points) et sur des expériences de variabilité tem-

porelle doivent être entreprises avant de pouvoir définir des techniques de dépollution.

III. LE PROBLEME DES ESPACES INACCESSIBLES

Bien qu'indirectement lié à la réflexion sur l'occupation de l'espace, le problème des zones inaccessibles a été évoqué.

Les espaces inaccessibles sont les suivants:

- la zone subsuperficielle (de 0 à quelques mètres de profondeur)
- la couche d'eau immédiatement au dessus du fond
- les zones à fonds accidentés
- les zones à faible profondeurs ("petits fonds")

Les autres "zones inaccessibles", comme les eaux territoriales étrangères, les zones inaccessibles au type de matériel utilisé (fréquences) ne sont pas considérées, car elles ne posent pas de problème de type méthodologique.

L'analyse de ces problèmes a montré que le point essentiel consiste à obtenir des index d'extrapolation utilisables, plus que des cartographies exhaustives.

1. LE PROBLEME DES EAUX SUPERFICIELLES

La solution à ce problème passe par plusieurs types de techniques:

- utilisation d'un transducteur dirigé vers le haut (avec paravanne). Cette méthode a l'avantage de fournir des informations spatiales, mais est certainement très lourde d'application.
- utilisation d'un transducteur mouillé sur le fond en point fixe. Méthode relativement plus facile d'application (au moins dans les petits fonds : transducteur adapté, méthodes de mouillage en profondeur...), et donne des informations sur de plus longues durées, mais reste ponctuel dans l'espace.
- utilisation du sonar. Il s'agit là d'une méthode différente, certainement très féconde, mais ni le matériel ni la méthodologie n'ont pour le moment donné des résultats très probants dans le monde.
- utilisation d'engins autonomes (ROV). Méthode coûteuse, lourde à appliquer, et de portée probablement réduite, mais possibilité d'utiliser plusieurs types de capteurs ensembles.

Il faut donc dans un premier temps définir le type de méthode et d'équipement le plus efficace. Il est suggéré que les premières approches se fassent dans les lacs, où les conditions de travail méthodologiques sont plus favorables.

2. PETITS FONDS

Deux cas se présentent: petits fonds en zones tranquilles et petits fonds en zones agitées.

- en zone agitée, le problème semble extrêmement difficile, et l'on sort peut-être là du champ d'action de l'acoustique: des méthodes alternatives doivent être envisagées (avion, stations, etc...)

- zones tranquilles. Le problème peut être reculé par l'utilisation de petites embarcations, de sondeurs adaptés, etc... jusqu'aux fonds d'environ trois mètres. En deçà de cette profondeur on se heurte aussi à des limites d'application.

Si l'application aux petits fonds peut être étendue jusqu'aux eaux de moins de 3 m, le problème de la signification des échos en termes d'acoustique se pose de façon aiguë: problèmes liés à la zone superficielle aveugle, au champ proche, aux lobes latéraux, etc.. On pourrait réduire ces problèmes par l'emploi de fréquences plus élevées, de faisceaux paramétriques, etc... Quoiqu'il en soit on arrive ici dans le domaine des acousticiens, qu'il faudrait intéresser à ces recherches.

BILAN ET CONCLUSIONS

Tous les problèmes posés par les structures spatiales n'ont pas été envisagés, et certaines lacunes sautent aux yeux. La description de la variabilité spatiale, par exemple, n'a été effleuré qu'en fonction de ses liens avec la variabilité temporelle; le vieillissement des structures et des masses d'eau n'a été cité que pour mémoire, etc...

Cela dit les deux voies de recherche issues des discussions et des préoccupations des chercheurs -et si l'on parle de variabilité spatio-temporelle plutôt que de variabilité temporelle seule- définissent bien la vocation du groupe, qui a mis le doigt sur une voie de recherche originale dont les résultats attendus sont d'une très grande importance. Ces deux voies présentent également la caractéristique d'être relativement facile à étudier indépendamment l'une de l'autre, même si elles ont besoin de s'appuyer l'une sur l'autre pour se développer.

Le groupe est arrivé également à la conclusion que l'outil de recherche (l'acoustique) conditionne à la fois les méthodes et la problématique. Par conséquent si le groupe a ressenti le besoin de s'étendre vers des disciplines voisines où les problèmes sont similaires, il n'en a pas moins conclu que la référence à l'acoustique devait être maintenue dans son intitulé. En revanche le thème "impact sur les évaluations acoustiques" n'a pas paru devoir conserver la même importance, dans la mesure où il s'agit d'une retombée évidente des recherches. Le nom du groupe pourrait donc devenir:

L'OCCUPATION DE L'ESPACE PAR LES POPULATIONS D'ORGANISMES AQUATIQUES OBSERVES PAR METHODES HYDROACOUSTIQUES: DETERMINISME ET EVOLUTION.

Le groupe a enfin décidé:

- de s'ouvrir à tout chercheur intéressé par les thèmes de recherches;
- de conserver le français comme langue de travail;
- de favoriser par des échanges de données et des contacts les recherches qui iront dans le sens de ses conclusions:

- de définir dans les prochains mois les méthodes de fonctionnement et de diffusion de ses travaux;
- de demander à chacun de ses membres de définir et réaliser dans l'un des thèmes choisis une opération de recherche dont les résultats seront présentés lors de la prochaine réunion;
- de se réunir dans le courant de 1992 dans un lieu à choisir.

ANNEXE 1 : LISTE DES PARTICIPANTS

(Nom, Nationalité, Institut et adresse du laboratoire)

ANGELI Nadine : France, INRA, Station Hydrobiologique de Thonon-les-Bains

CAMARENA Tomas : Mexique, Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO), Station de Chetumal

CARDENAS Juan Jose : Vénézuéla, Fundación La Salle de Ciencias Naturales (FLASA), Campus de Margarita

GERDEAUX Daniel : France, INRA, Station Hydrobiologique de Thonon

GERLOTTO François : France, ORSTOM, Centre de Martinique

GUILLARD Jean : France, INRA, Station Hydrobiologique de Thonon

IBANEZ Frédéric : France, Université de Paris VI, Station de Villefranche/mer

LEVENEZ Jean-Jacques : France, ORSTOM, Centre de Recherches Océanographiques de dakar-Thiaroye

MARCHAL Emile : France, ORSTOM, Institut Océanographique, Paris

PETIT Didier : France, ORSTOM, Centre de Brest

PETITGAS Pierre : France, Ecole des Mines, Fontainebleau

SAMB Biram : Sénégal, ISRA, Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye

SIMARD Yvan : Canada, Institut Maurice Lamontagne, Montjoli, Québec.

ANNEXE 2 : LISTE DES COMMUNICATIONS PRESENTEES

Y. SIMARD

L'organisation spatiale tridimensionnelle des petits pélagiques à un site d'alimentation des grands rorquals dans le Golfe du Saint-Laurent, en relation avec les caractéristiques des masses d'eau.

F. GERLOTTO

Influence de la variabilité temporelle sur les résultats des prospections acoustiques

E. MARCHAL

Taux d'occupation et énergie rétrodiffusée

Structure thermique et concentration des organismes

F. IBANEZ, M. ETIENNE et T. BAUSSANT

Analyse numérique des échogrammes

N. ANGELI, P. DUFOUR, D. GERDEAUX, J. GUILLARD et J.P. PELLETIER

Distribution horizontale bidimensionnelle des descripteurs physico-chimiques et planctonologiques dans les couches productives du Léman

J. GUILLARD et D. GERDEAUX

Estimation des stocks pisciaires en lacs par écho-intégration

P. PETITGAS

Biomasse totale et occupation de l'espace: exemple des relations entre densité et aire de distribution dans le cas du merlu du Golfe de Gascogne.

Echantillonnage et géométrie spatiale des concentrations.

J.J. LEVENEZ

Description de la variabilité temporelle des structures superficielles des concentrations le long de la côte sénégalaise.

L'organisation spatiale tridimensionnelle des petits pélagiques
à un site d'alimentation des grands rorquals
dans le Golfe du Saint-Laurent, en relation avec
les caractéristiques des masses d'eau.

Yvan Simard

Problématique:

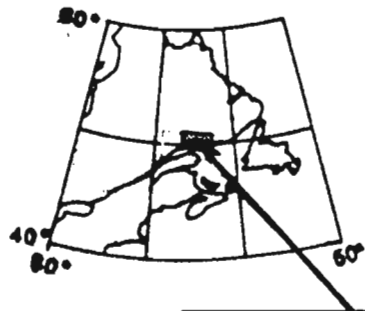
Dans le cadre d'un programme de recherche visant à comprendre les mécanismes qui régissent l'agrégation estivale de petits poissons pélagiques dans le nord du Golfe du Saint-Laurent (fig. 1), une mission acoustique fut menée à la fin de l'été 1990. Les données hydroacoustiques étaient récoltées au moyen d'un système Biosonics Model 102 à deux fréquences (38 et 120 kHz) à double faisceau, le long d'un réseau régulier de radiales côte-large. La température, la salinité, la transmission de la lumière étaient mesurées simultanément à l'aide de sondes CTD et d'un transmissiomètre. Ces variables environnementales étaient échantillonnées en continu en surface ainsi qu'à un réseau de stations ponctuelles où des profils verticaux furent réalisés.

Résultats et discussion:

La cartographie des valeurs d'échointégration à 120 kHz dans le plan vertical le long des radiales (fig. 1), a montré la présence de fortes concentrations de petits poissons pélagiques dans les 20 mètres supérieurs de la colonne d'eau. La superposition des cartes correspondantes des isothermes a montré que ces concentrations étaient associées à des températures relativement élevées de la colonne d'eau (8-13°C). Les agrégations étaient absentes près de la côte sur les radiales où la température indiquait un upwelling côtier des eaux subsuperficielles, de température inférieure à 8°C. Cependant, sur certaines radiales, quelques denses bancs se maintenaient dans les eaux froides, le long du front. L'abondance des petits pélagiques montrait également un net gradient est-ouest décroissant.

Bien qu'une relation entre la structure thermique des masses d'eaux et l'abondance des petits pélagiques en surface semble exister, de plus amples investigations seront requises pour la mettre clairement en évidence. D'autres facteurs tels l'abondance de zooplancton, le phytoplancton et la transparence de l'eau peuvent être corrélés. De plus, la dynamique du front local, qui est étroitement relié à la circulation forcée dans le détroit, devra être décrite avec suffisamment de détails pour permettre sa modélisation, afin de comprendre l'interaction avec les petits pélagiques et les rorquals qui s'alimentent dans cette région depuis des siècles.

La mise en évidence de la relation complexe entre la répartition des organismes et les facteurs environnementaux nécessitera l'emploi de traitements numériques spatiaux bien adaptés aux différentes échelles spatio-temporelles significatives.



STRATE 0.5-5.0 M: TEMPERATURE

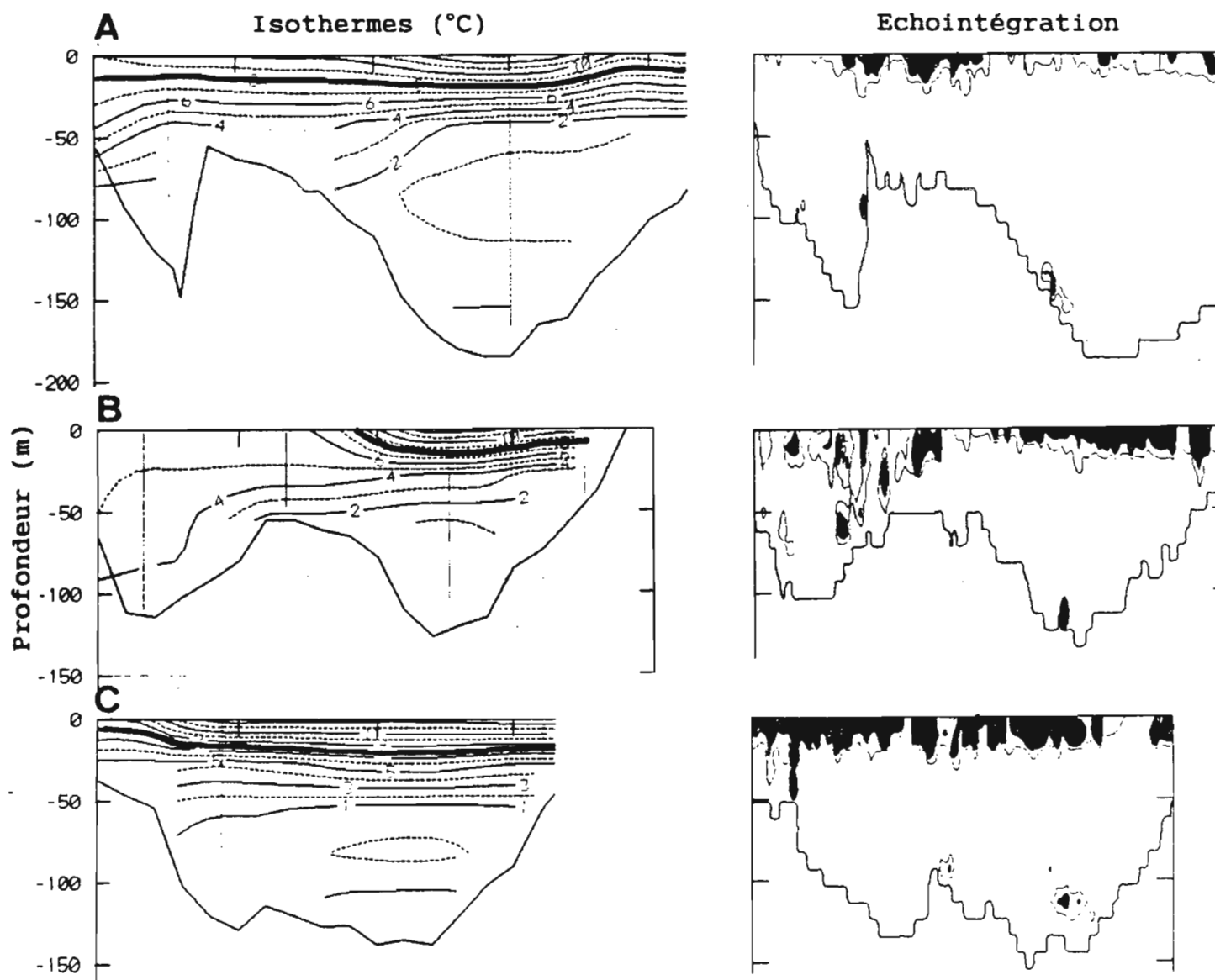
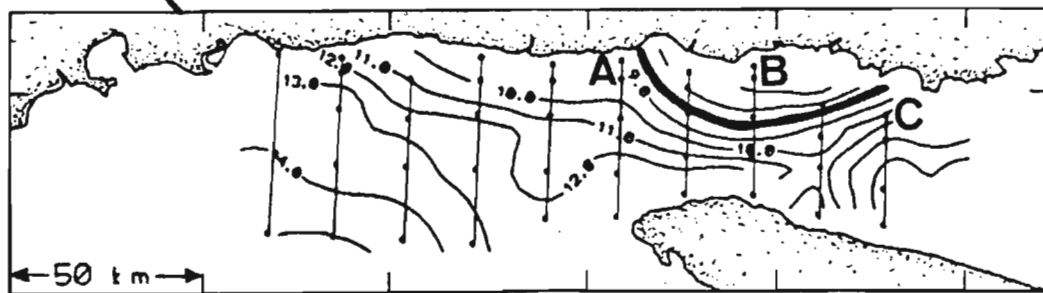


Figure 1. Echointégration et structure thermique dans le nord du Golfe du Saint-Laurent en août 1990.

Influence de la variabilité temporelle sur les résultats des prospections acoustiques

François GERLOTTO

Les poissons pélagiques sont en général rassemblés dans des aires liées à des structures hydrologiques, et donc susceptibles d'effectuer des mouvements rapides dans les trois dimensions pour suivre ou s'adapter à ces structures. En outre leurs distributions dépendent très étroitement de cycles dont le plus manifeste est le cycle diurne (fig. 1, d'après Fréon et Soria, 1991).

En conséquence, et comme une prospection acoustique n'est pas instantanée, la variabilité temporelle des structures et des distributions doit être prise en compte dans les analyses des données.

Le présent travail présente les résultats d'une radiale effectuée dans le Golfe de Cariaco (Vénézuéla) en novembre 1990, et répétée 27 fois durant un cycle de 24 heures (fig. 2). Le détail de l'expérience et du matériel est présenté par Gerlotto et Petitgas (1991).

Résultats

La figure 3 présente la variation dans le temps des densités moyennes pour chaque répétition de la radiale: on voit que la variabilité est importante, et que dans une certaine mesure elle n'est pas strictement aléatoire (autocorrélation, fig. 4).

Les échogrammes pour leur part ont montré que les poissons ont pris différentes structures pendant le cycle nyctéméral. Cette succession de structures a été "classique": bancs denses le jour, concentrations vastes et plus diffuses en période d'aube et de crépuscule, couches dispersées la nuit.

Enfin la variabilité est différente entre jour et nuit (fig. 5 et 6): les densités mesurées sont beaucoup plus stables la nuit que le jour. Ceci est évidemment directement conséquence du type d'agrégation (bancs le jour, diffus la nuit).

Discussion - Conclusion

Il apparait indispensable d'avoir une idée de la variabilité temporelle avant de décider des adaptations des mailles d'échantillonnage au type de distribution: comme le temps ne peut être réduit, avec l'augmentation de l'effort d'échantillonnage il arrive un moment où la part de la variance d'estimation due à la variabilité temporelle devient prédominante et où cette augmentation ne peut plus apporter d'information sur les distributions spatiales (Simard et Gerlotto, 1990). En revanche elle pourra apporter des informations sur l'histogramme des distributions de densité.

En général la variabilité temporelle n'est (au mieux...) prise en compte dans le dépouillement d'une campagne que par la séparation des données de jour de celles de nuit. Bien qu'indispensable, ceci est insuffisant dans certains cas. Autant que possible, il faudra alors s'astreindre à étudier la "dérive

F 36678

spatio-temporelle" de la distribution des densités et définir si elle est aléatoire ou s'il s'agit d'une dérive obéissant à une loi quelconque, et donc mesurable et corrigible.

BIBLIOGRAPHIE

GERLOTTO, F. ET P. PETITGAS, 1991. Some elements on time variability in acoustic surveys through the example of a single transect repeated during 24 hours. CIEM/ICES Working Group on Fish. Acoust. Sci. Technol., Ancona, Italy, April 1991 : 9 p.

SIMARD, Y. et F. GERLOTTO, 1990. Exploration of the applicability of geostatistics in fisheries acoustics. CIEM/ICES Working Group on Fish. Acoust. Sci. Technol., Rostock, DDR, April 1990 : 27 p.

SORIA, M. et P. FREON, 1991. Diurnal variation in fish density during acoustic surveys in relation to avoidance reaction. CIEM/ICES Working Group on Fish. Acoust. Sci. Technol., Ancona, Italy, April 1991 : 15 p.

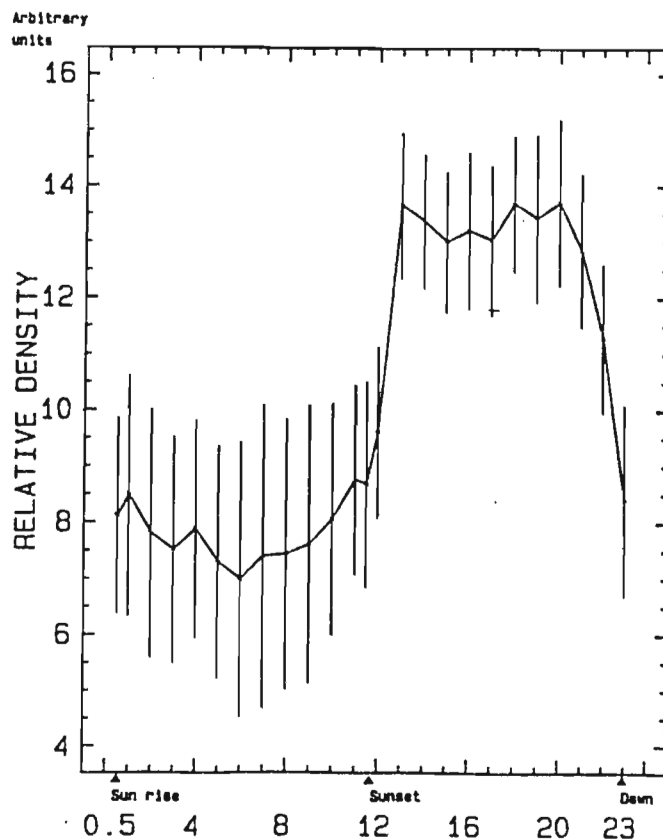


Fig. 1. Variation nycthémerale de la densité relative : moyenne sur 14 campagnes d'écho-intégration (d'après Soria et Fréon, 1991)

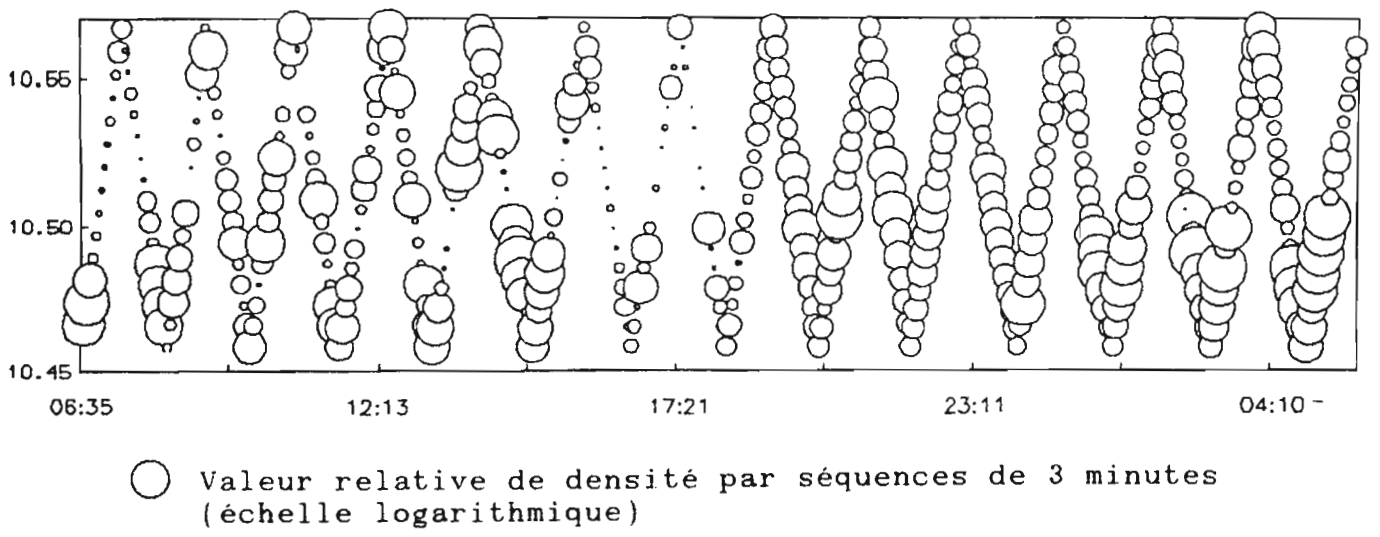


Fig. 5. Variabilité spatio-temporelle le long des 27 radiales

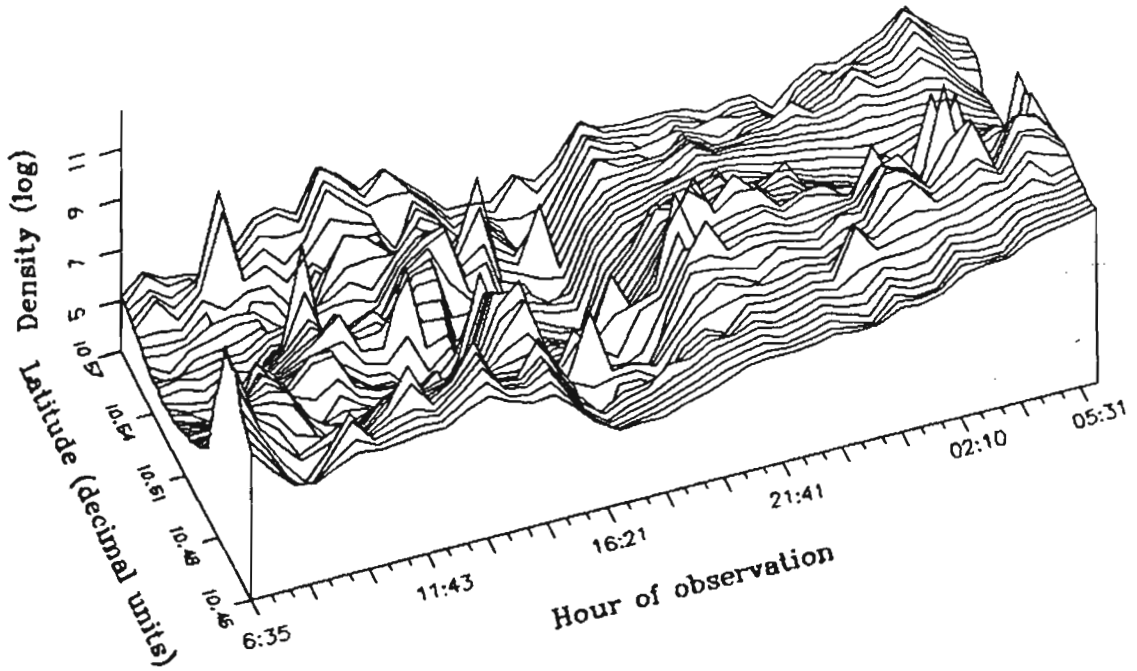


Fig. 6. Représentation tridimensionnelle de la variabilité spatio-temporelle le long des radiales au cours du nyctémère

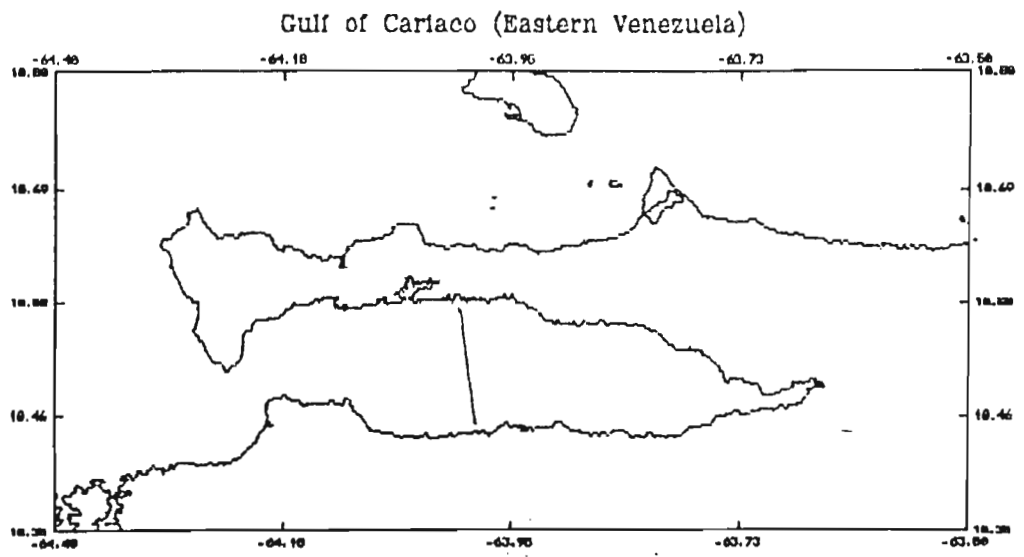


Fig. 2. Position géographique de la radiale

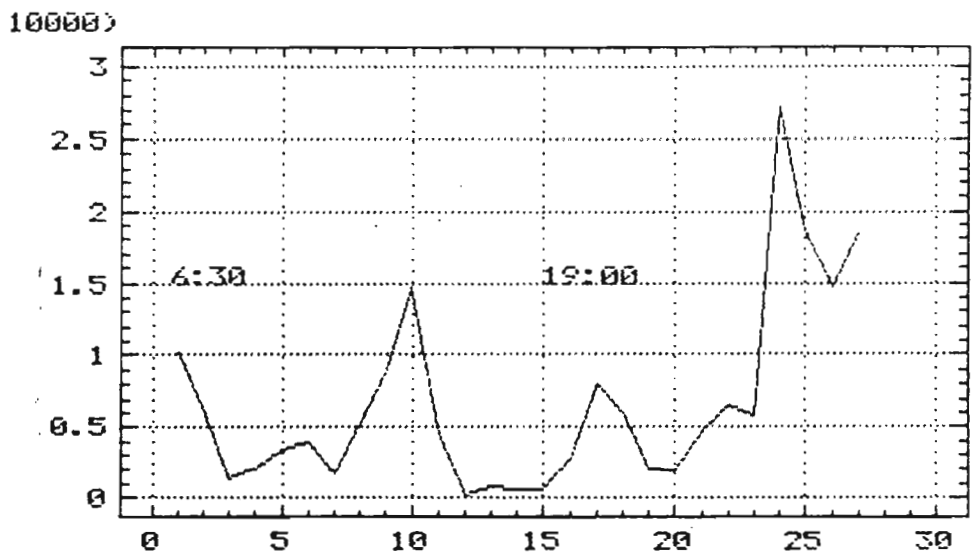


Fig. 3. Variation de la densité moyenne pour les 27 répétitions de la radiale (densité en valeurs relatives)

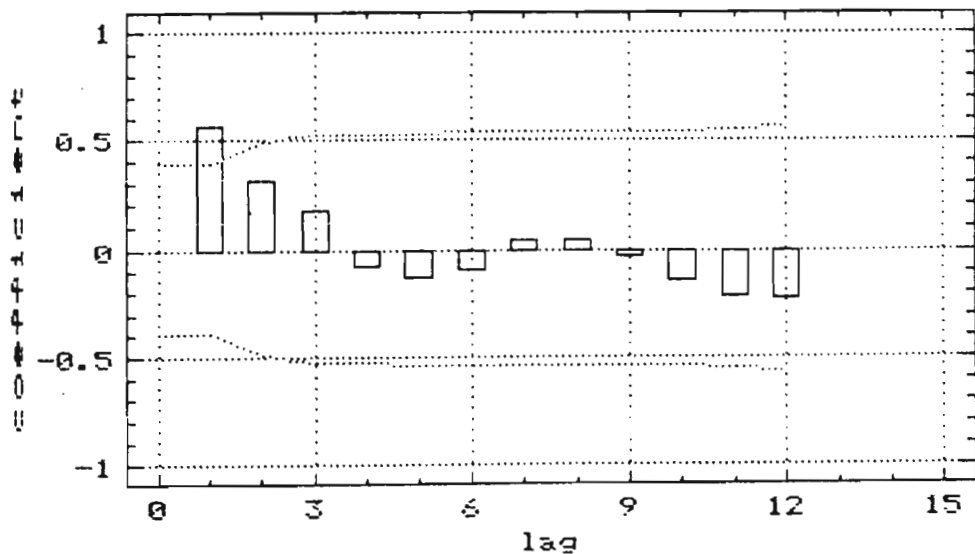


Fig. 4. Autocorrélogramme des densités moyennes successives pour les 27 répétitions.

Taux d'occupation et énergie rétrodiffusée

par Emile MARCHAL

L'occupation de l'espace aquatique peut être définie par le nombre d'organismes contenus dans une unité de volume. Une image en est donnée par les enregistrements (papier, vidéo) de la sortie d'un sondeur. A partir de cette image on pourra définir un "taux d'occupation" par le rapport des superficies portant des détections (échocs d'organismes) à la superficie totale de l'enregistrement, entre certaines limites définies (distance, profondeur). Cependant, outre les difficultés liées à la mesure de telles surfaces, leur détermination n'est guère réalisable que dans le cas de structures physiquement continues telles que des bancs : les poissons en couche ou dispersés ne peuvent faire l'objet de telles mesures.

Dans tous les systèmes numériques de traitement, le signal en provenance du sondeur est échantillonné à fréquence fixe : à chaque retour d'émission on obtient donc un nombre de valeurs discrètes proportionnel à la profondeur. Entre deux profondeurs (définissant une tranche d'eau) ce nombre est constant et se retrouvera identique à l'émission suivante. Il correspond donc au cadre fourni par un enregistreur (graphique, vidéo) d'une strate distance/profondeur. Les valeurs non nulles -c'est à dire en fait supérieures à un niveau d'intensité ou seuil- représentent précisément la "superficie" des détections marquées sur un enregistrement possédant un seuil équivalent. Le rapport du nombre de ces valeurs, nommées également échantillons positifs (n_+), au nombre total de valeurs (n) constitue le taux d'occupation (tx) de la tranche d'eau considérée :

$$tx = (n_+/n)*100$$

L'intégrateur d'échocs AGENOR fournit ces deux quantités et permet donc très simplement de calculer ce taux d'occupation. Il est également possible de calculer, à partir de l'énergie totale rétrodiffusée (E_r) par les échocs d'une strate, l'énergie moyenne de ces échocs (e_+) qui est la moyenne des valeurs non nulles et l'énergie moyenne de volume (e) qui est la moyenne de toutes les valeurs (proportionnelle à l'abondance moyenne par unité de volume) :

$$e_+ = E_r/n_+ \\ e = E_r/n$$

Par référence aux enregistrements "classiques", l'énergie moyenne des échocs correspond à l'intensité de marquage ou à la gamme de fausses couleurs d'une représentation vidéo, mais avec une dynamique totalement respectée.

Les deux premières figures présentées illustrent l'évolution du taux d'occupation et de l'énergie moyenne des

échos sur un même parcours effectué successivement de nuit et de jour. Les deux figures suivantes montrent les relations entre énergie moyenne des échos (e^+) et énergie moyenne de volume (e) pour les mêmes données, en séparant jour et nuit. Cette représentation permet d'identifier divers types de détection par leur intensité (e^+) et leur concentration (e).

On ne doit cependant pas oublier que le nombre de valeurs non nulles est très dépendant du seuil réel, c'est-à-dire en fait du rapport signal sur seuil affiché, et dépend donc entre autre de la distance (profondeur). La correction à effectuer n'est pas simple, pas plus que ne l'est l'interprétation de l'énergie moyenne rétrodiffusée par écho. On peut simplifier le problème en considérant des tranches de faible épaisseur (cas présenté : tranche de 30 à 40 mètres).

Quoi qu'il en soit, cette méthode d'analyse permet une classification aisée des détections qui peut suffire dans de nombreux cas.

Références :

Marchal E., 1988.-Recherches sur la signification du nombre d'échos, de la tension carrée moyenne et sur la possibilité d'utiliser cette valeur pour étalonner in situ un écho-intégrateur.- Communication C.I.E.M., Fish Capture Committee, 1988/B : 54, 7 p. miméo.

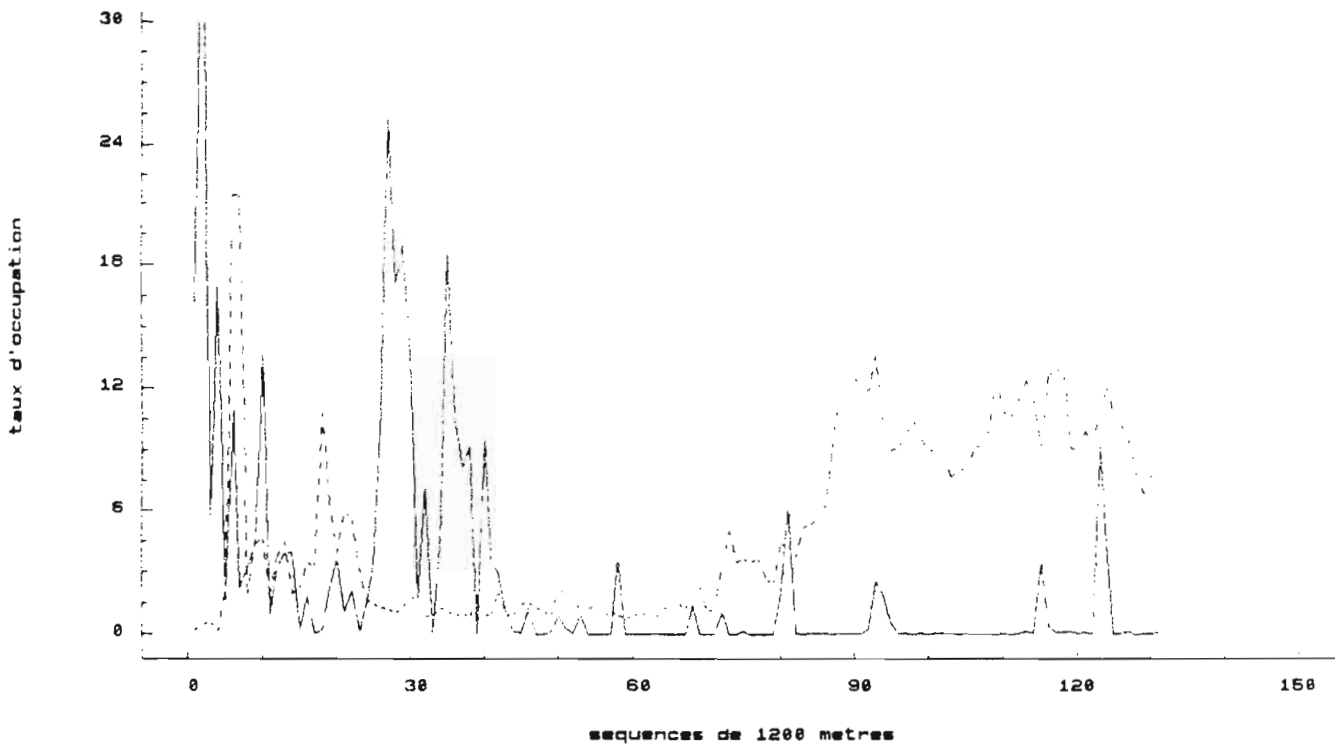
Marchal E., 1990.- Utilisation de l'acoustique dans l'étude des structures agrégatives des organismes pélagiques (couches, bancs).- Océanis, vol.16, fasc.2, 1990, pp. 91-96.

Radiale 1.33 N. a 3.00 N., 15 W

couche 30-40 metres

— Jour

- - - Nuit



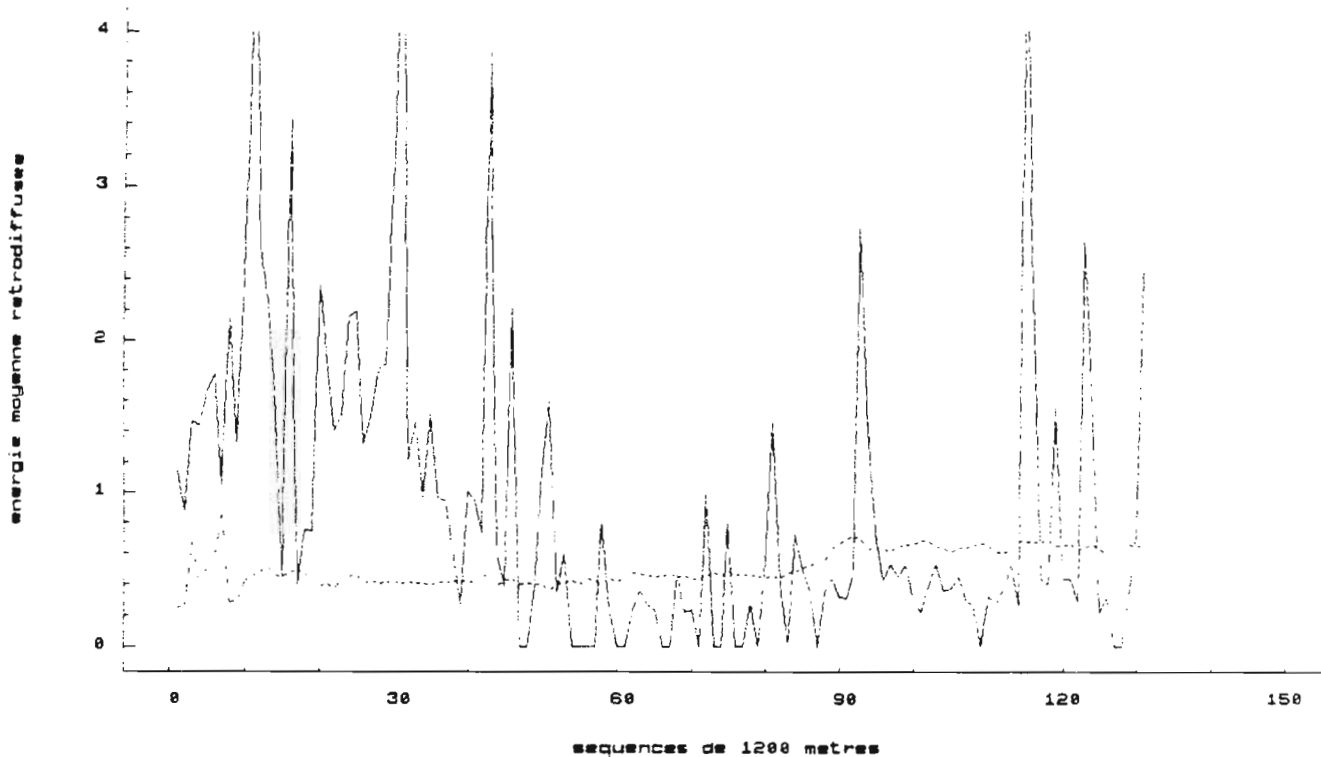
Radiale 1.33 N. a 3.00 N., 15 W

couche 30-40 metres

— Jour

- - - Nuit

(X 1000)



Structure thermique et concentration des organismes aquatiques

par Emile MARCHAL

Les structures thermiques rencontrées en mer paraissent jouer un rôle très important au niveau de la répartition des organismes. On entend ici par structure thermique essentiellement les zones à fort gradient qu'elles soient horizontales (thermoclines) ou plus ou moins verticales (fronts). On a pu observer ces deux situations, à deux saisons opposées, dans l'Atlantique orientale tropicale. Les organismes constituaient ce qu'il est convenu d'appeler une SSL (Sound Scattering Layer). Dans cette région il s'agit d'une couche migrante située vers 300-400 mètres le jour et proche de la surface de nuit.

En saison chaude, la thermocline est bien marquée et constitue un "plafond" dans laquelle vient se positionner la SSL : c'est ce que montre la première figure. Il apparaît en outre que la concentration en organismes est plus dense dans les zones où cette thermocline est moins profonde.

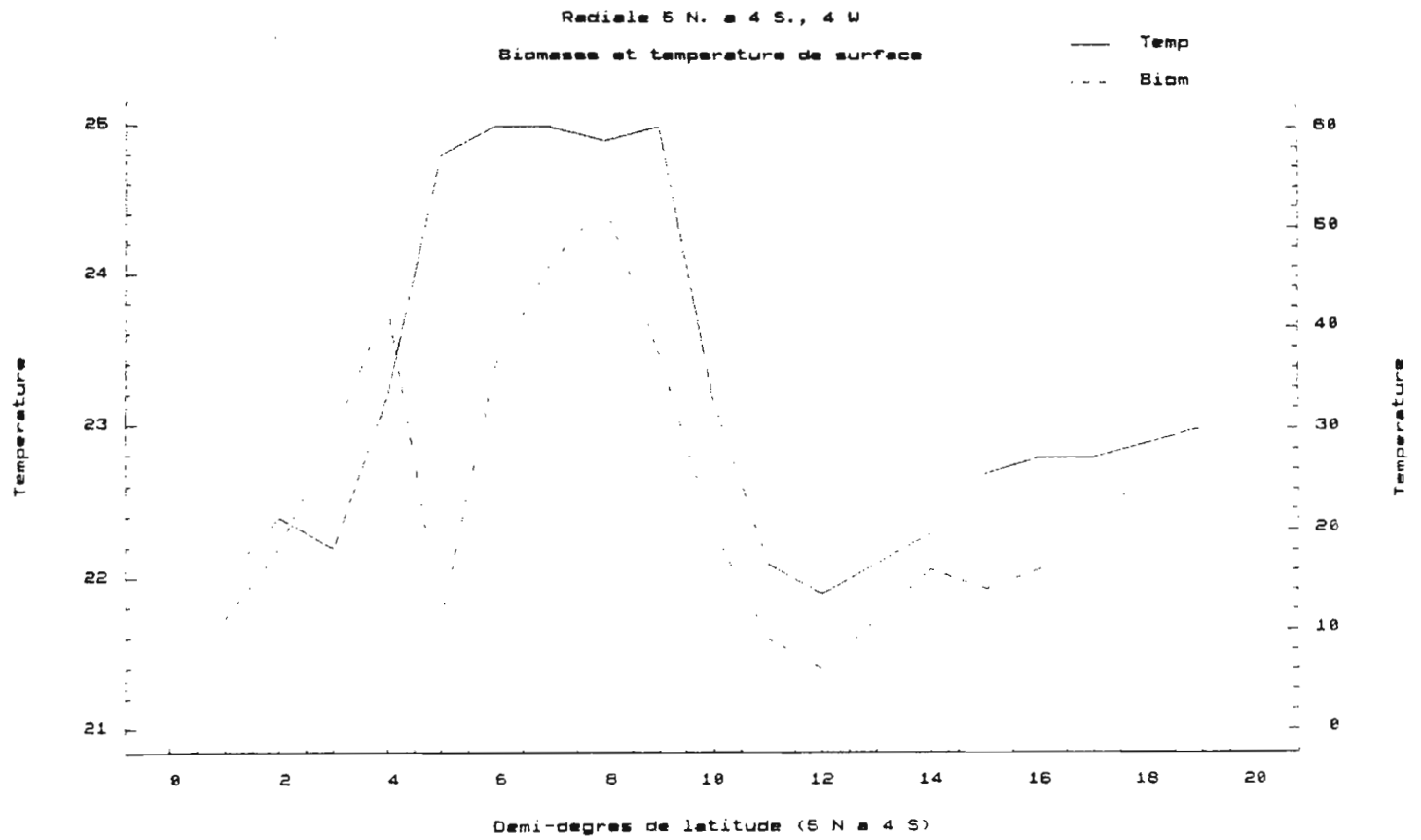
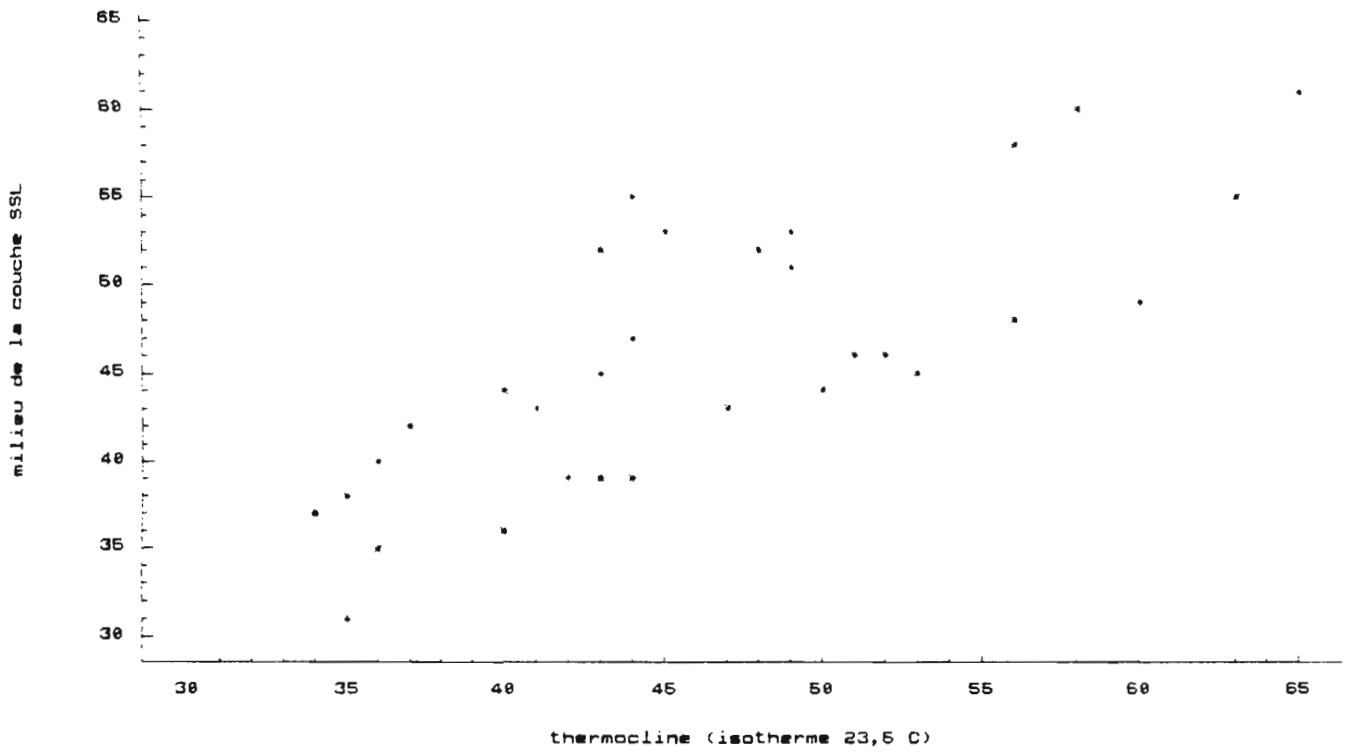
En saison "froide", un upwelling qui se développe le long de l'équateur détruit la thermocline. Plus au nord (1 à 3 N.), on rencontre une zone de convergence limitée par des fronts très marqués. L'index acoustique de biomasse (énergie totale rétrodiffusée par la couche) est beaucoup plus élevé dans cette zone, particulièrement semble-t-il au voisinage des fronts, comme le montre la figure suivante.

Ces phénomènes de concentration pourraient expliquer l'intérêt marqué des grands poissons pélagiques (tels que les thons) pour ces structures contrastées..

Référence :

Marchal E., Gerlotto F., Stequert B., 1990.- Scattering layer of micronekton, thermal structure and tuna abundance in the eastern Atlantic equatorial current system.- Communication C.I.E.M., Biological Oceanography Committee, 1990/L 12, 13 p.

Profondeur SSL de nuit et thermocline
zone transequatoriale, Atlantique Est



ESTIMATION DES STOCKS PISCIERES EN LAC PAR ECHOINTEGRATION

GUILLARD J., GERDEAUX D.

Le suivi régulier des populations pisciaires, associés à des campagnes d'échointégration, nous ont permis d'établir une stratégie d'échantillonnage dans les lacs.

Objectifs:

- Cartographie de la répartition des populations de poissons
- Estimation de la densité moyenne de la biomasses pisciaire
- Etude des variations du niveau du stock.

Suivi des peuplements:

Le suivi de la baie de Sciez dans le lac Léman, et les campagnes sur des lacs Alpains (Annecy, Bourget, Léman), associés à la pose de filets, aux chalutages et à l'observation des captures des pêcheurs professionnels et amateurs nous ont permis d'appréhender les variations des répartitions spatio-temporelles des peuplements pisciaires.

Nous avons constaté une grande hétérogénéité de la répartition dans les strates horizontales et verticales, l'existence de zones de concentrations élevées, et d'un gradient zone littorale-zone pélagique (fig. 1).

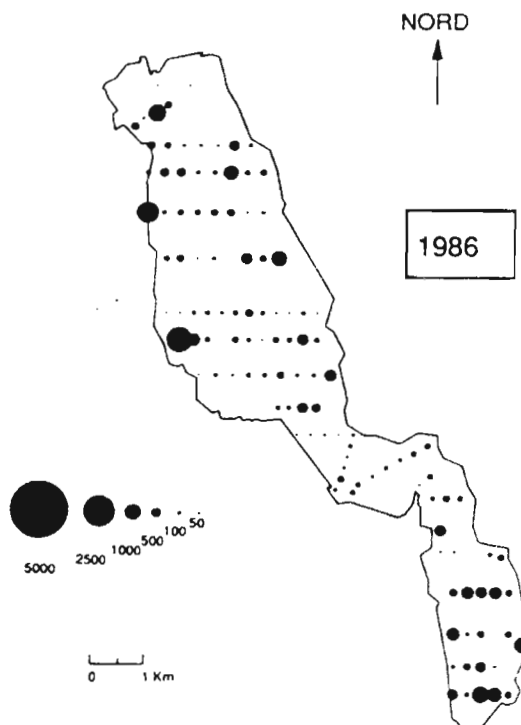


figure 1: résultats d'échointégration sur le lac d'Annecy; représentation des valeurs pour des séquences de 2 minutes par des cercles de rayon proportionnel au nombre d'unités d'échointégration.

L'occupation de l'espace par les peuplements pisciaires varie au cours des saisons, et du cycle nycthéméral. Il existe des périodes plus ou moins favorables pour la détection acoustique.

En effet, la nuit les poissons sont dispersés dans la masse d'eau. Inversement le jour, regroupés en bancs ou près du fond, leur détection est plus difficile.

Pendant l'automne, les conditions sont optimales: les poissons sont dispersés au niveau de la thermocline (20-25 mètres) pendant la nuit (fig. 2).

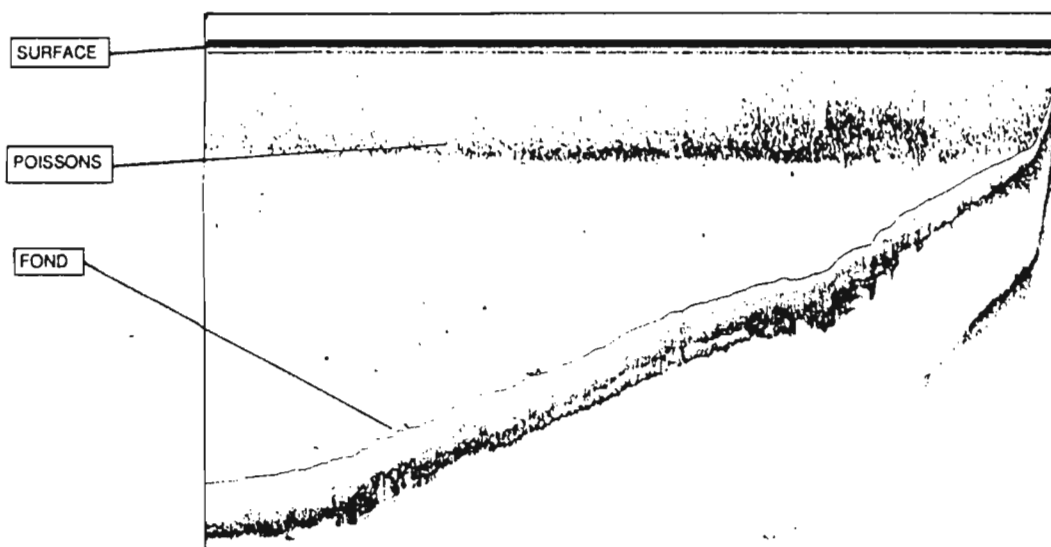


figure 2: échogramme avec répartition des poissons au niveau de la thermocline, Annecy campagne d'octobre 1988.

Le choix du pas d'échantillonnage entre transects permet la couverture complète du lac en une partie de la nuit.

Pour comparer les variations interannuelles des stocks nous travaillons dans les conditions les plus proches possibles d'une fois sur l'autre. c'est à dire en automne et dans les mêmes conditions climatique, thermique, lunaire et technique (bateau, matériel...). Ainsi nous limitons les biais possibles.

Conclusion:

Les problèmes rencontrés en lac sont identiques à ceux rencontrés en mer. La dimension réduite et finie du milieu permet une meilleure connaissance de l'occupation de l'espace par les peuplements de poissons.

La comparaison des résultats interannuels permet de mesurer l'évolution du stock, au moins en indice d'abondance. Cet indice est à replacer dans un cadre plus général du suivi des peuplements pisciaires en relation avec les statistiques de pêche, et le suivi du milieu. La cartographie des poissons permet, parallèlement à une approche multiparamètres des composants du milieu, d'aborder la compréhension des relations trophiques et de l'occupation de l'espace. L'utilisation des techniques géostatistiques a permis la réalisation de cette cartographie, et le calcul d'un estimateur avec un écart-type d'estimation en général inférieur à 25 % de l'estimateur.

ANALYSE NUMERIQUE DES ECHOGRAMMES

par F. Ibanez, M. Etienne et T. Baussant

Observatoire Océanologique . Station Zoologique O6230 - Villefranche sur Mer

INTRODUCTION

La visualisation des images acoustiques sur la verticale le long d'une radiale, permet de détecter les fortes concentrations d'organismes pélagiques (necton et plancton) et de reconnaître la discontinuité correspondant au front hydrologique Ligure (Baussant 1988; Baussant *et al.* 1991). Cependant comme ces images sont numérisées et enregistrées, on peut se demander comment utiliser cette information pour dépasser le simple examen qualitatif. Mais relier statistiquement l'intensité des échos aux variations quantitatives des paramètres hydrologiques est une opération délicate pour deux raisons principales: d'abord parce que l'échantillonnage acoustique possède une résolution très supérieure à celle que l'on peut au mieux obtenir pour les mesures des paramètres hydrologiques, ensuite parce que les échogrammes présentent une structure discontinue surtout sur la verticale, alors que les descripteurs du milieu suivent plutôt des gradients. L'interprétation ou la comparaison d'échogrammes doit donc prendre en compte à la fois les caractéristiques de l'environnement et la distribution spatiale des échos. L'analyse d'image procédant en premier lieu d'une reconnaissance des zones d'échos les plus intenses, pourrait s'avérer adaptée à ce type de problème car elle permet de tenir compte des caractéristiques statistiques et géométriques des enregistrements.

METHODES

Identification des essaims (figure 1)

Un essaim sera défini conventionnellement comme un groupe d'échos d'intensité supérieure à la tendance locale bidimensionnelle. Certes la définition de la tendance soulève des problèmes méthodologiques et bien des choix arbitraires (que nous ne développerons pas ici). Au lieu de rechercher un seuillage à l'échelle de la carte, un essaim sera défini par un groupe d'échos adjacents, chacun d'eux ayant une intensité supérieure, simultanément, à la tendance générale univariée selon la verticale locale, et à la tendance générale univariée selon la profondeur locale (figure 2). L'expression de la tendance générale pour chaque profondeur et chaque verticale (chaque ligne et chaque colonne du tableau numérisé de l'échogramme) est unique si on choisit la méthode de filtration dite par les vecteurs propre: cet algorithme correspond à une analyse en composantes principales (ACP) sur le tableau défini par la série différenciée autant de fois qu'elle présente de termes d'autocorrélation positifs divisés par deux. Ce qui revient donc à une ACP sur la matrice d'autocovariance du signal (Ibanez et Etienne, 1991). Ce lissage correspond à un opérateur moyenne mobile pondérée qui restitue la tendance générale sans hypothèse sur sa forme si on considère le premier axe principal. Après n'avoir conservé de l'échogramme que les essaims, il faut procéder à une reconnaissance de leurs contours afin de déterminer leurs caractéristiques statistiques et géométriques.

F 36682

Caractéristiques des essais

Nous inspirant de Nero and Magnusson (1990), 21 caractères géométriques et statistiques sont estimés pour chaque essaim. La liste de ces caractères est donnée à la figure 1 et un schéma (figure 2) montre comment certains d'entre eux (géométriques) sont définis. Le terme de rugosité (caractère statistique) est équivalent à l'expression d'une variance des intensités des échos selon certaines directions à l'intérieur des essaims. La publication de Nero et Magnusson donne toutes les formules nécessaires.

Interprétation des essais.

Un programme graphique permet de représenter sur l'échogramme, uniquement les essaims possédant les caractéristiques que l'on veut. Par exemple les 10% ayant la plus grande surface et la plus petite hétérogénéité pour les intensités. Une ACP sur la matrice de corrélation montre les proximités entre les 21 caractères. D'après l'exemple traité (figure 3), visiblement, les caractères statistiques sont fortement liés aux caractères géométriques (relations inverses pour la plupart), et il sera intéressant de vérifier si on retrouve systématiquement ces corrélations. Le programme graphique précédant permet de figurer les essaims les plus représentatifs de fortes valeurs de composantes (positives ou négatives). Les isolignes des paramètres peuvent également être projetés sur cette représentation.

Disposant du tableau essais x caractères, il est facile d'appliquer les techniques de l'analyse des données: effectuer une classification des essaims et visualiser la répartition des groupes ainsi reconnus; estimer l'information mutuelle paramètres hydrologiques et caractères (figure 3); rechercher les caractéristiques des essaims qui discriminent le plus entre des zones hydrologiques; vérifier si des essaims identifiés grâce à des pêches comme des assemblages d'organismes d'une même espèce (ou de taille voisine), peuvent être aussi détectés à partir des caractères géométriques et statistiques de leur signature acoustique, etc.

L'ensemble des programmes informatique est pratiquement achevée (BASIC HP sur Station de Travail Hewlett Packard 9000 - 370CH), et des analyses sont en cours pour la rédaction d'un article illustré par l'étude d'un échogramme observé, avant la mise en exploitation sur les très nombreuses données acoustiques acquises lors des campagnes dans la zone frontale Ligurienne.

-
- T. Baussant. 1988. L'interprétation des données d'un sondeur acoustique dans le cadre de la structure hydrologique frontale de Mer Ligurienne. Mémoire de DEA. Paris VI
- Baussant T., F. Ibanez, S. Dallot & M. Etienne. 1991. Qualitative study of sound scattering layers at 50 KHz and their relations to the physical structure of the Ligurian Sea Front. *Oceanologica Acta* (en révision)
- Ibanez F. & Etienne M., 1991 Le filtrage des séries chronologiques par l'analyse en composantes principales de processus (ACPP). *J.Recher.Océanogr.* 16 Sous presse
- Nero R.W. and J.J Magnusson 1989. Characterization of patches along transects using high-resolution 70-khz integrated acoustic data. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.*, 46: 2056-2064

Organigramme de l'analyse numérique

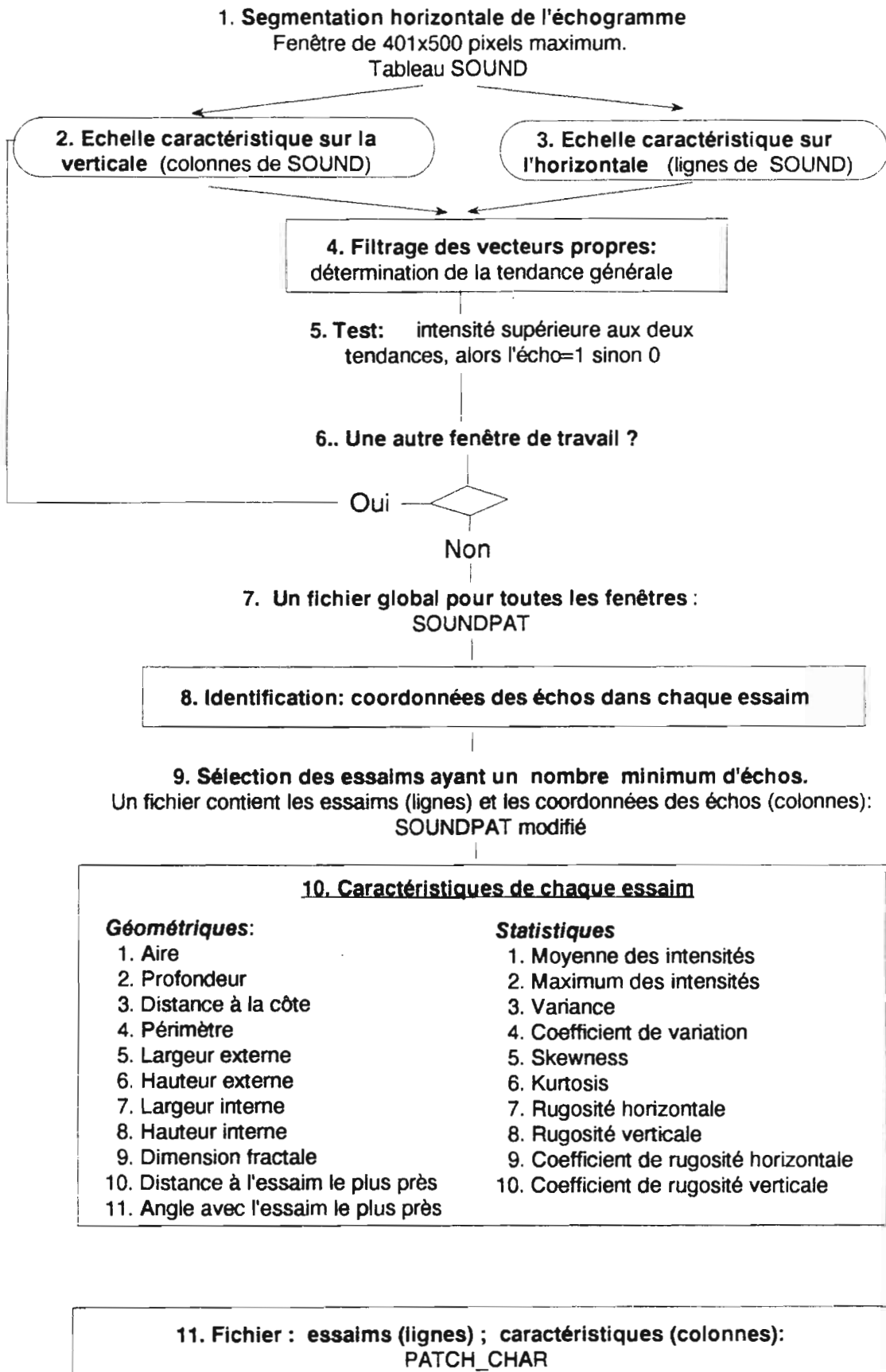
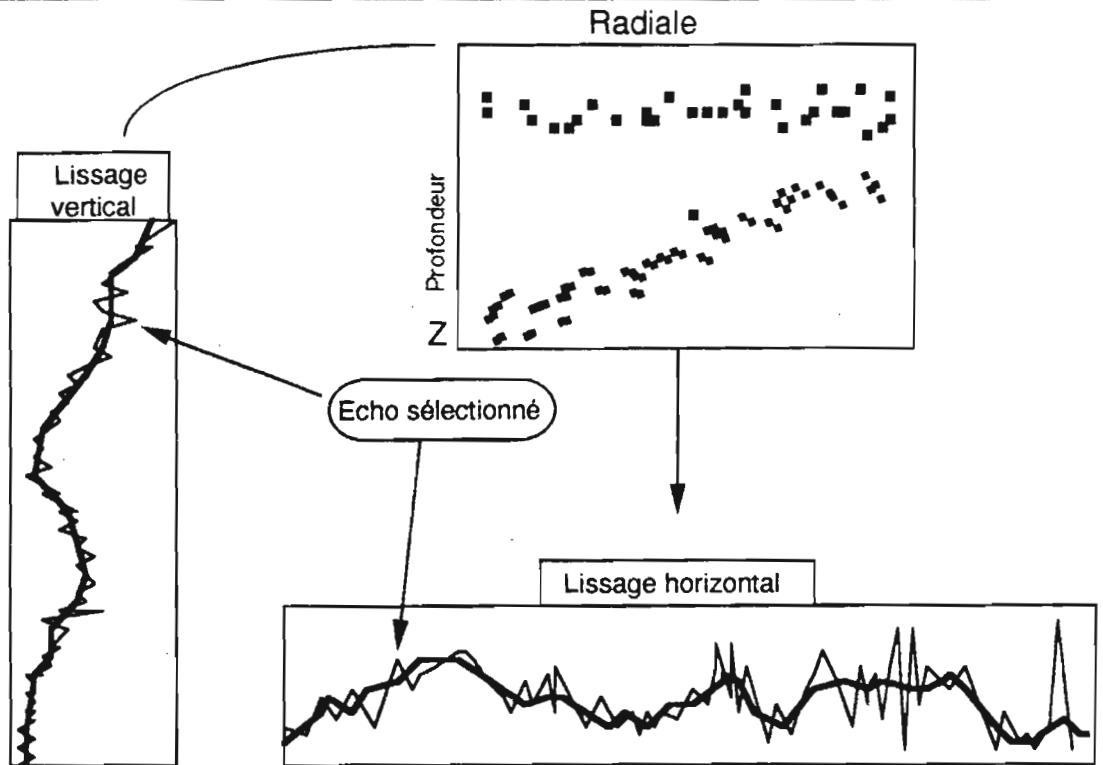
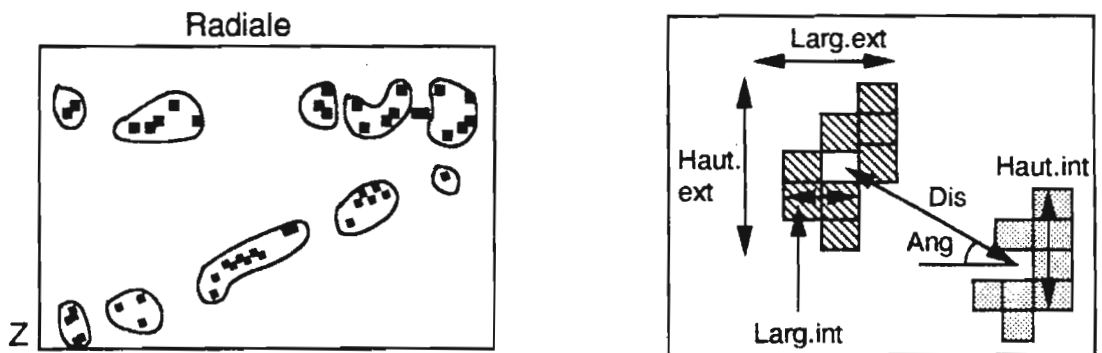


Figure 1.

Filtrage des vecteurs propres selon la profondeur et l'horizontale



Reconnaissance des essaims



Echogramme avec des couleurs représentant leurs caractéristiques

Les isolignes des paramètres hydrologiques sont reportés

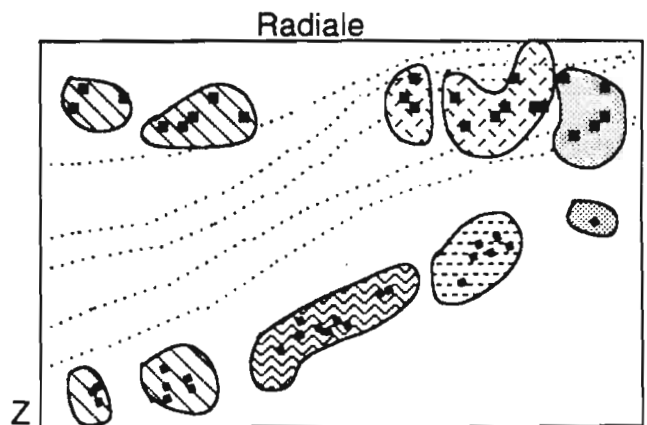
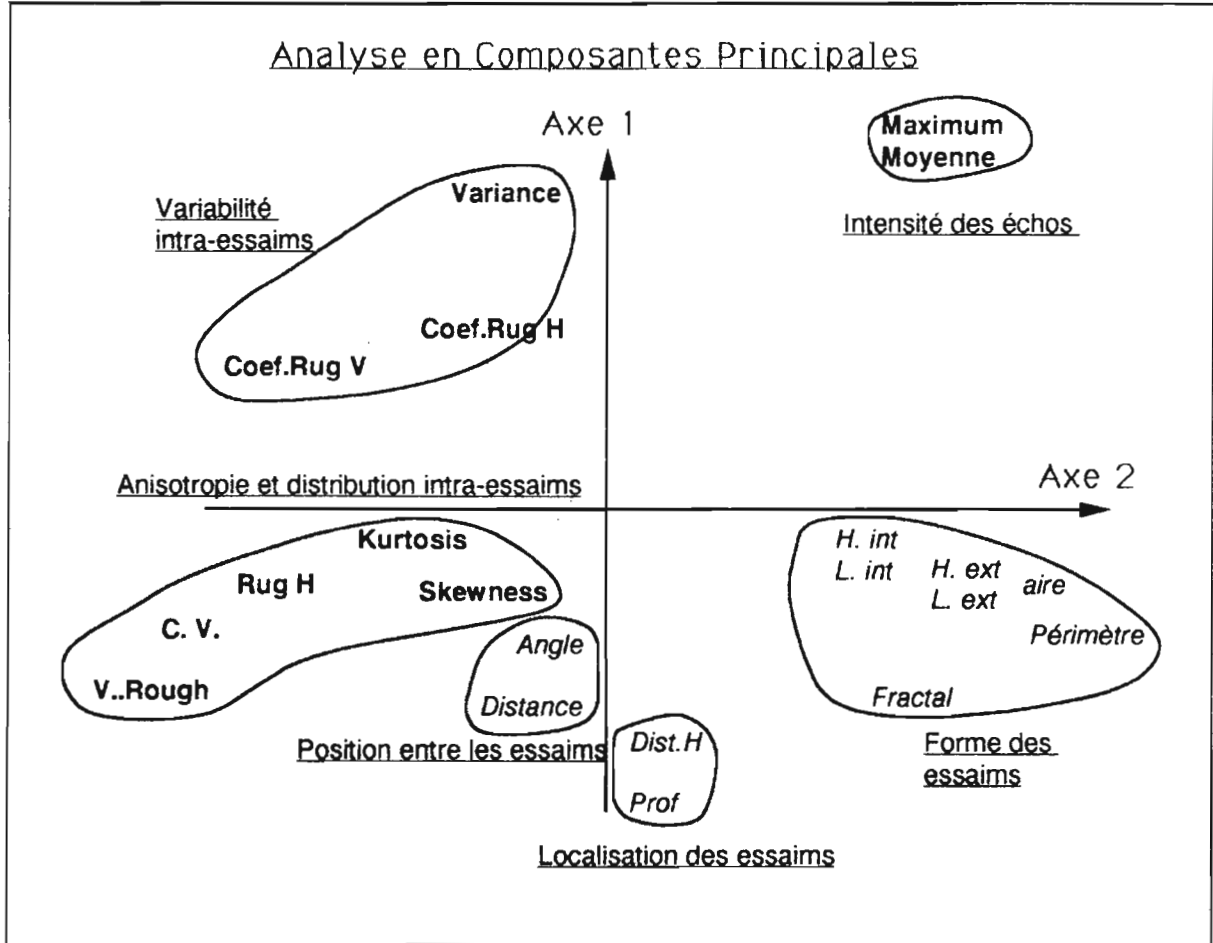
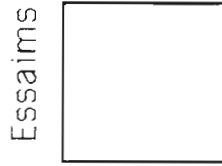


Figure 2. Analyse d'image des essaims

Description des Essaims

Fichier: PATCH -CHAR

Caractères



Déterminisme des essais

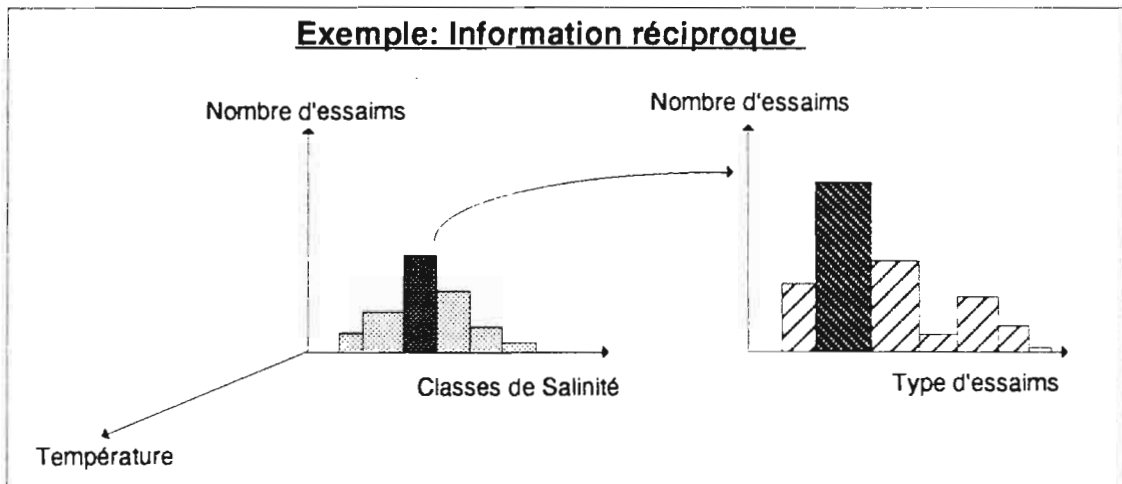


Figure 3. Schéma de quelques analyses à partir du tableau essais - caractères

DISTRIBUTION HORIZONTALE BIDIMENSIONNELLE DES DESCRIPTEURS PHYSICO-CHIMIQUES ET PLANCTONOLOGIQUES DANS LES COUCHES PRODUCTIVES DU LEMAN.

N. ANGELI, P. DUFOUR, D. GERDEAUX, J. GUILLARD ET J.P. PELLETIER.

Les variations concomitantes, des températures, sels nutritifs et biomasses phyto, bactério- et zooplanctoniques ont été prospectées à l'occasion d'une campagne d'évaluation acoustique des stocks pisciaires.

Objectifs : cette première prospection synoptique multiparamètres visait à obtenir quelques éléments de réponses aux questions suivantes : les différences régionales d'exposition aux vents dominants, d'apports, d'influence rhodaniennes sont-elles gommées par le brassage (hypothèse sous-jacente au plan d'échantillonnage sur lequel repose la surveillance du lac)? Dans la négative, les caractéristiques des structures diffèrent-elles avec les descripteurs? Importance relative de l'étendue des séries spatiales vis-à-vis des séries saisonnières récoltées localement? .

Conditions de récoltes et caractéristiques des 2 séries présentées. Les mesures, faites à l'occasion de brefs arrêts entre deux séquences d'échointégration, portent nécessairement sur des échantillons intégrés : traits verticaux au filet pour le zooplancton (0-50m), prélèvements à la cloche, descendue jusqu'à 10m, pour le bactérioplancton, la chlorophylle et les sels nutritifs. La première exploration, interrompue par un coup de vent, a duré 2 jours, porte sur 21 stations réparties sur 200 km² soit la moitié du grand lac. La seconde couvre tout le lac. Faite sitôt le vent faiblit, elle a duré 3 jours, et porte sur 33 stations dont les 13 premières couvrent l'aire prospectée avant le coup de vent (pseudo-répétition). Cette prospection a été faite en avril, période vraisemblablement peu propice au développement de structures physiques et biologiques contrastées (lac faiblement réchauffé, faible stabilité verticale, faible développement de la biomasse phytoplanctonique).

Résultats : quelque soit leur degré de dispersion les variables semblent toutes structurées spatialement. La représentation cartographique suggère ainsi une répartition en taches pour la chlorophylle, un gradient de même sens pour la température, le zooplancton (fig. 1), l'ammoniacque, le rapport N/P (fig. 1 et 2), de sens opposé pour NO₃, et PO₄ (fig. 1 et 2). L'impact du vent semble varier avec les descripteurs. Au regard de l'étendue des séries saisonnières, les plages de variations spatiales (tableau I) paraissent très faibles pour les descripteurs physiques, les nitrates, le rapport N/P, très fortes, au contraire, pour le bactério- et le zooplancton. En fin, le classement des variables en fonction des coefficients de variation suit une logique fonctionnelle suggérant une amplification de la variabilité au travers du réseau trophique.

Problèmes numériques : Comment quantifier puis tester des différences ou des analogies de structures (comparaisons intra- et inter-variables)? Peut on tester si cette apparente augmentation de la dispersion d'un niveau trophique au niveau supérieur n'est pas le fait du hasard?

Série	MOYENNE		COEFFICIENT DE VARIATION (%)		PLAGE DE VARIATION (Min-Max)			IMPORTANCE RELATIVE DES PLAGES DE VARIATIONS SPATIALES (% DE L'ETENDUE SAISONNIERE)	
	1	2	1	2	1	2	saisonnrière (station de surveillance) n=21	1	2
Température (°C)	6,7	6,5	2	4	6,4-7,1	6,1-7,0	5,1-20	5	6
NO ₃ (µg.l ⁻¹)	545	541	3	2	530-590	520-550	20-600	10	5
PO ₄ (µg.l ⁻¹)	54	63	8	4	46-61	57-65	2-65	24	13
Chla (µg.l ⁻¹)	2,6	1,6	18	21	1,8-3,5	1,1-2,1	0,7-33	5	3
Bactéries (10 ⁶ cell.ml ⁻¹)	2,0	1,3	24	37	1,5-2,8	0,7-2,7	0,5-3,7	41	63
Zooplancton (ml.m ⁻²)	133	79	50	38	73-396	25-132	20-500	67	22
N/P	10,2	8,6	5	9	7,0-11,7	8,1-9,1	10,0-65,5	8	2

Tableau I : DESCRIPTION SOMMAIRE DES SERIES FAITES AVANT ET APRES UN COUP DE VENT DE SECTEUR NORD.

F 36683

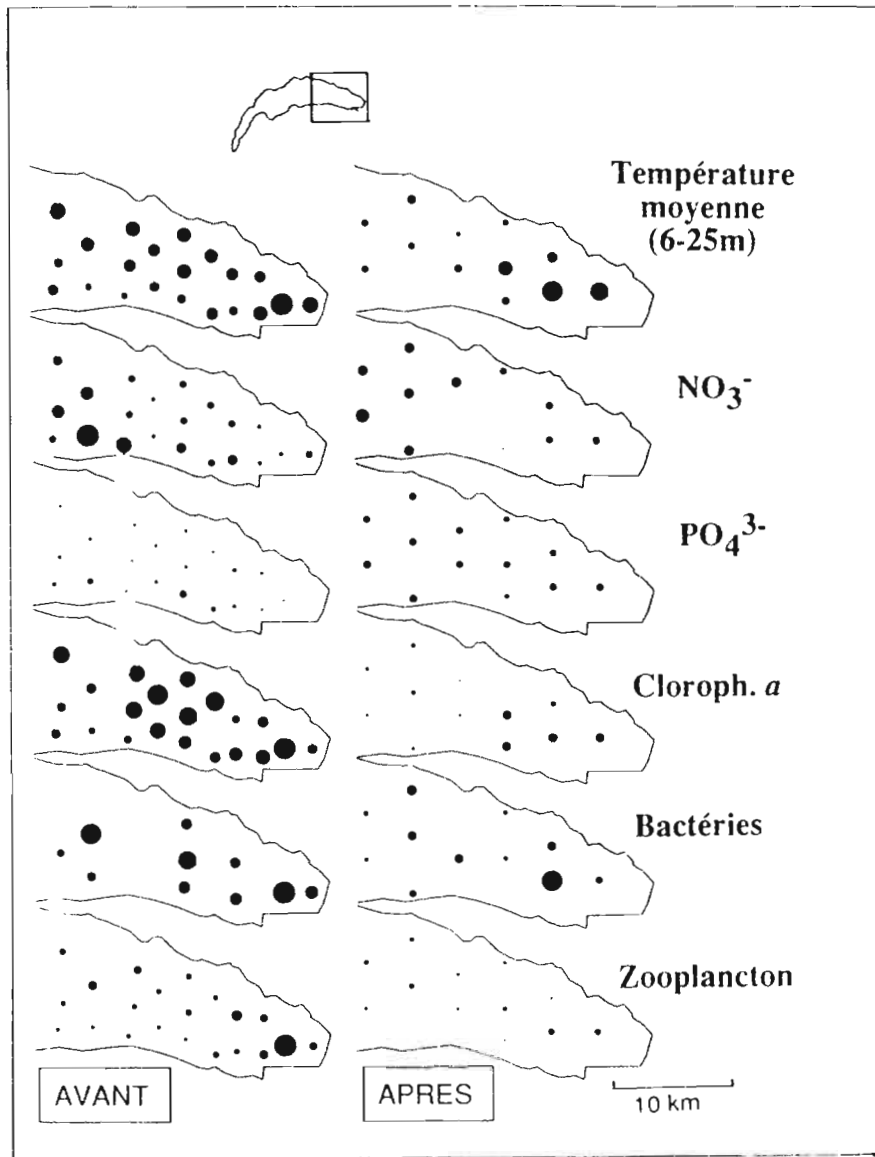


Fig. 1 - Cartographie des répartitions sur le haut lac avant et après un coup de vent de secteur nord. L'étendue des séries a été ramenée à l'intervalle 1-100.

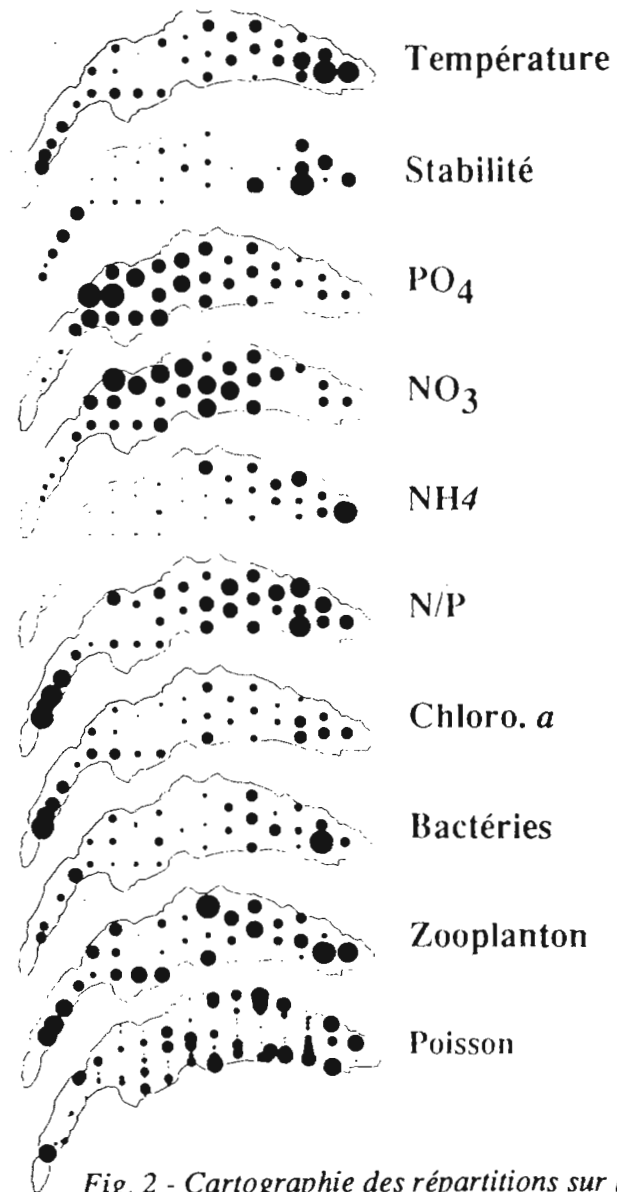


Fig. 2 - Cartographie des répartitions sur l'ensemble du lac après le coup de vent.