

## STRUCTURATION SPATIALE DE LA RESSOURCE HALIEUTIQUE : EXEMPLE D'UNE PECHERIE DEMERSALE A VANUATU (OCEANIE)

Espérance Cillaurren <sup>(1)</sup>, Monique Simier <sup>(1)</sup> et Laurence Blanc <sup>(2)</sup>

(1) *Laboratoire Halieutique et Ecosystèmes Aquatiques, Centre IRD,  
B.P. 5045, 34032 Montpellier cedex 1 - France.*

(2) *Laboratoire d'Hydrobiologie Marine et Continentale,  
Université Montpellier 2, Case c. 093, Place Eugène Bataillon,  
34095 Montpellier cedex 5 - France.*

### Résumé

Sur l'archipel de Vanuatu (Océanie), la pêcherie artisanale exploite une ressource démersale constituée essentiellement de onze espèces de poissons. Nous mettons en évidence ici par une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) la forte structure verticale de ces espèces. Puis deux autres méthodes multivariées sont utilisées pour étudier en détail les influences géographique et bathymétrique sur l'abondance. Une approche multi-tableaux (AFC de Foucart), traite le jeu de données comme une matrice à trois dimensions (espèces, îles, années) et montre une déstructuration progressive du gradient bathymétrique du Nord-Ouest au Sud-Est de l'archipel. Une approche par variables instrumentales (ACPVI) décompose la variabilité totale du tableau (espèces en colonnes, îles, années en lignes) par un modèle d'analyse de variance, montrant la faible variabilité géographique des espèces des strates profonde et superficielle. Elle permet aussi de modéliser l'abondance spécifique à partir des axes des différentes ACPVI.

### Mots-clés

*Vanuatu, pêche artisanale, poissons démersaux, répartition spatiale, AFC, analyse factorielle des correspondances, STATIS, méthodes multitableaux, ACPVI, variables instrumentales.*

### Summary

On the Vanuatu archipelago (Oceania), the artisanal fishery harvests a demersal resource mainly composed by eleven fish species. By a Factorial Correspondence Analysis (COA) we show the strong vertical structure of these species. Then two other multivariate methods are applied in order to study in details the geographical and bathymetric influences on the abundance. A multitable approach (Foucart's COA) considers the data set as a 3-way table (species, islands, deepness) and shows a progressive destructuring of the bathymetric gradient from the North-West to the South-East of the archipelago. An instrumental variables approach (PCAIV) splits the total variability of the table (species in columns, islands, years in rows) by an ANOVA model, showing the weak geographical variability of species from the deepest and superficial strata. This approach also allows building species abundance models from the different PCAIV axes.

### Key-words

*Vanuatu, artisanal fishery, demersal fish, spatial distribution, COA, factorial correspondence analysis, STATIS, multitable methods, PCAIV, instrumental variables.*

## Introduction

En halieutique, la prise en compte de l'espace dans la modélisation de la dynamique des populations est relativement récente (Lebreton, 1997). En effet, ce n'est qu'à partir de la seconde moitié du vingtième siècle que la diffusion de la ressource ou l'hétérogénéité de sa distribution dans l'espace ont été intégrées dans les modèles halieutiques. Cette démarche est encore considérée comme difficilement applicable par les acteurs sociaux.

Pour une pêcherie artisanale comme celle qui prévaut à Vanuatu, archipel océanien, et à l'instar des autres états insulaires du Pacifique, les activités sont fortement inféodées aux caractéristiques de l'espace, qu'il s'agisse de l'accès aux lieux de pêche ou de la disponibilité de la ressource. Les populations de poissons ciblés par cette pêche sont des espèces démersales qui vivent entre 50 et 500 m de fond au-dessus des pentes récifales externes. Leur faible caractère migratoire handicape leur extension, également limitée par la structure de l'archipel constitué d'îles hautes séparées par des chenaux profonds. L'hypothèse émise sur la localisation de la ressource exploitée est donc à étudier ; ses implications pour la régulation de l'effort de pêche selon les lieux et dans la durée sont évidentes, compte tenu des risques de surexploitation localisée.

Nous nous proposons ici de comparer l'application de trois méthodes d'analyse multivariée à un jeu de données provenant de cette pêcherie. Dans un premier temps nous situerons le contexte de la récolte des données et décrirons les méthodes utilisées (analyse des correspondances simple, analyse des correspondances de Foucart et analyse sur variables instrumentales). Puis nous présenterons les résultats de ces analyses. Les conclusions porteront sur l'apport comparé de ces méthodes pour l'étude de la ressource.

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Données

Les données ont été collectées au sein d'une pêcherie artisanale développée à Vanuatu, archipel situé au Nord de la Nouvelle-Calédonie (Figure 1). Le pays est caractérisé par l'éclatement de son espace, résultat d'une activité sismique intense. Des îles ou groupes d'îles apparaissent ainsi, séparés par des chenaux dont la profondeur est supérieure à 1000 m et qui sont autant de barrières à la migration des espèces démersales étudiées.

Ces espèces vivent au-dessus des pentes récifales externes, à des profondeurs variant entre 50 et 500 m. La pêche se pratique de manière très uniforme par des petites embarcations - 5 à 8 m - équipées de moulinets à main sur lesquels sont montées des lignes. Onze espèces constituent l'essentiel - environ 80% - des prises. Deux familles principales sont représentées : les *Lutjanidae* (avec le genre *Etelis* et le genre *Pristipomoides* et deux espèces isolées) et les *Serranidae* (avec le genre *Epinephelus*).

Une base de statistiques de pêche a été constituée pendant dix ans, de 1982 à 1991, à partir d'enquêtes journalières portant sur les sorties de pêche. 10 000 sorties de pêche et 100 000 longueurs-poissons appartenant aux onze principales espèces capturées ont été enregistrées. Un volet du système d'enquête a permis, à travers le suivi des débarquements, de sélectionner une base de données destinée à étudier les caractéristiques biologiques et écologiques de la ressource. La capture par unité d'effort ou C.P.U.E. en kg par jour-ligne est considérée ici comme un indice de l'abondance de la ressource à un moment et sur un lieu donné. Divers tableaux de données peuvent être construits à partir de cette base, afin d'étudier la répartition spatio-temporelle des espèces étudiées.

Dans le travail présenté ici, nous nous sommes intéressés à l'étude de la répartition spatiale des espèces. Six îles ou groupes d'îles ont été définis (Figure 1), pour six strates de profondeur, allant de 125 à 375 m. Un tableau rectangulaire a été constitué, dont les onze colonnes sont les espèces étudiées, et les trente-six lignes des combinaisons île x profondeur. Chaque case de ce tableau contient une valeur de CPUE transformée en logarithme.

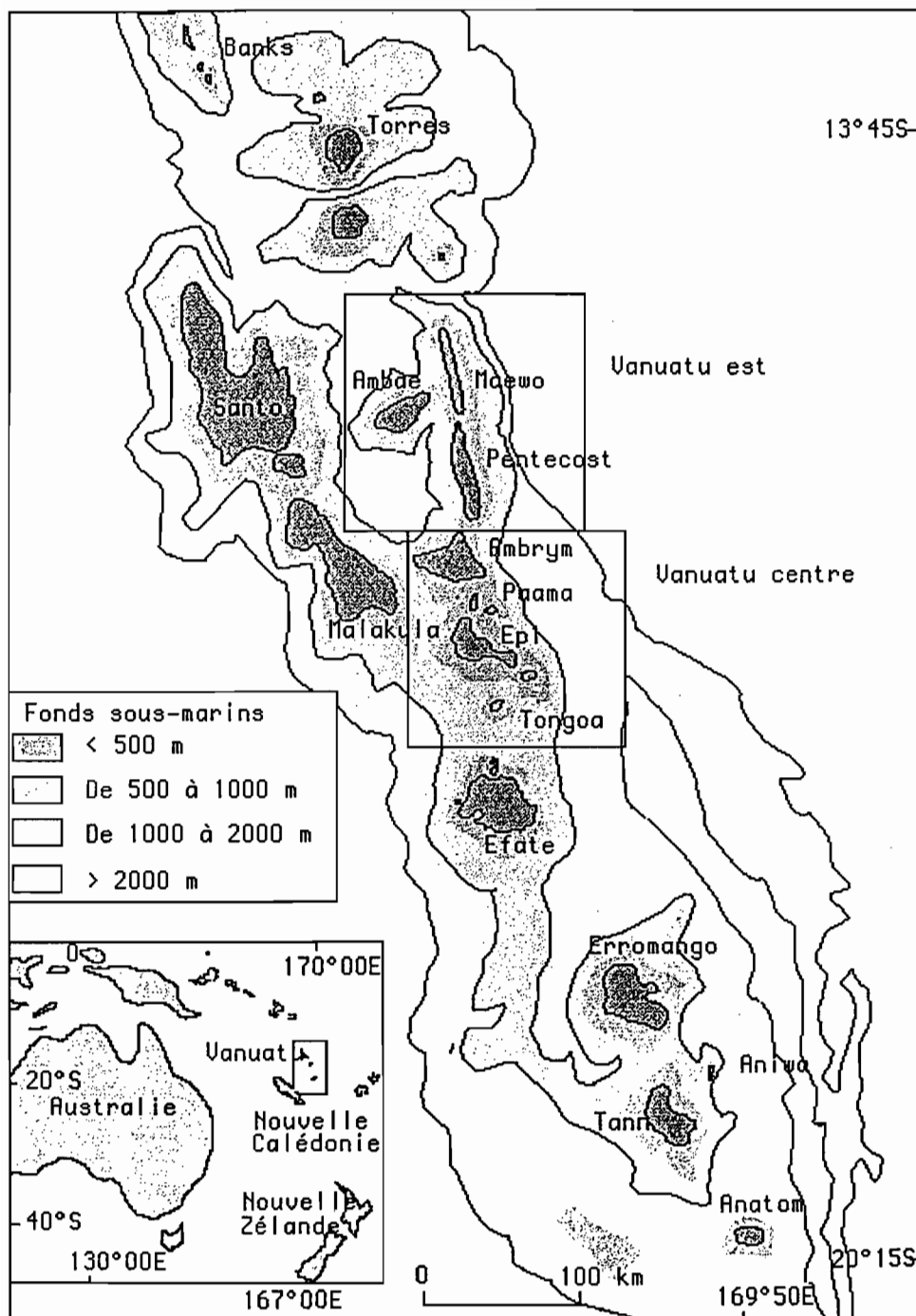


Figure 1 : L'archipel du Vanuatu. Situation géographique et profil bathymétrique. Localisation des 6 zones d'exploitation définies dans le cadre de cette étude : Santo, Vanuatu Est, Malekula, Vanuatu Centre, Efate, Tanna.

## 1.2. Méthodes

### 1.2.1. Analyse Factorielle des Correspondances simple

Afin de comparer les profils de répartition des espèces plutôt que leurs abondances absolues, nous avons fait le choix d'appliquer au tableau de données à 36 lignes et 11 colonnes une Analyse Factorielle des Correspondances (AFC) de préférence à une Analyse en Composantes Principales (ACP).

L'Analyse des Correspondances simple permet, par définition, de mettre en « correspondance » deux facteurs qualitatifs dont les modalités s'expriment respectivement en ligne et en colonne. Ici la situation est particulière dans le sens où le facteur définissant les lignes résulte lui-même de la combinaison de deux facteurs qui sont l'île et la profondeur. Pour décomposer leurs rôles respectifs, nous utilisons ensuite deux approches dont nous comparerons les avantages et les inconvénients.

### 1.2.2. Approche Multi-tableaux : Analyse des Correspondances de Foucart, 1978

La première approche envisagée consiste à considérer le tableau comme un cube de données à 3 indices : Espèces / Îles / Profondeurs (Figure 2).

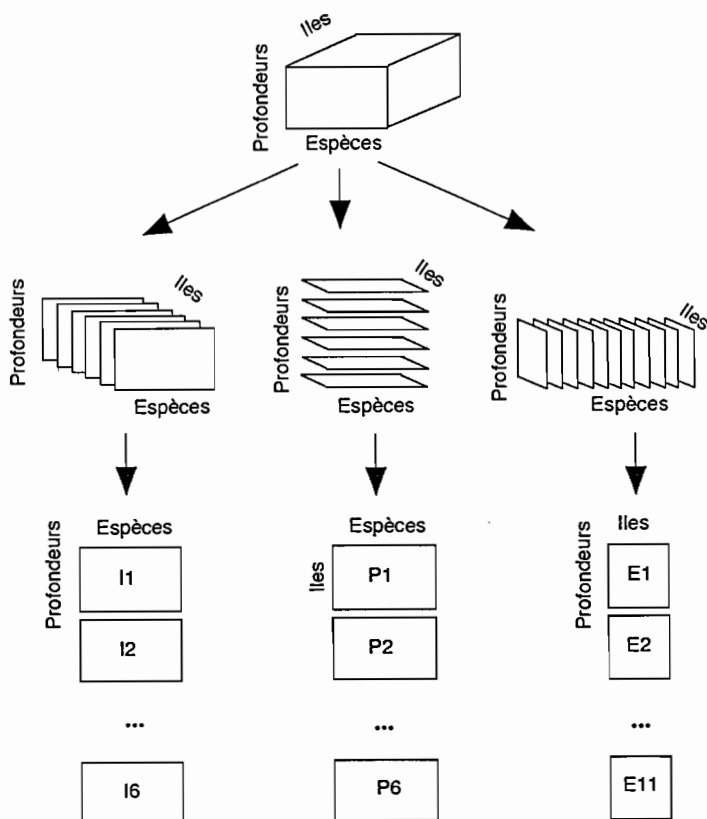


Figure 2 : L'approche multi-tableaux par l'AFC de Foucart. Le cube de données à trois indices (espèces, îles, profondeurs) peut être abordé de trois points de vue : un tableau espèces x profondeurs par île, un tableau espèces x îles par profondeur ou un tableau îles x profondeurs par espèce.

Apparentées aux méthodes STATIS décrites par Lavit *et coll.*, 1994, deux méthodes permettent de traiter ce type de situation. La première, fondée sur l'Analyse Factorielle des Correspondances, a été proposée par Foucart, 1978 et 1983. L'Analyse Triadique Partielle (ATP), introduite en écologie aquatique par Thioulouse et Chessel, 1987 et reprise récemment par Blanc *et coll.*, 1998, est fondée quant à elle sur une logique d'Analyse en Composantes Principales. Afin de rester dans une logique d'AFC, nous avons choisi ici l'AFC de Foucart.

Le principe de ces méthodes est de traiter le cube comme une série de tableaux à deux entrées. La première étape consiste à rechercher la structure commune à tous les tableaux, le compromis, et à l'analyser. Dans un second temps, sa reproductibilité est étudiée à travers les projections des tableaux initiaux sur les axes issus de l'analyse du compromis.

Le cube de données peut être abordé de trois manières et le choix de la présentation des tableaux fait au début de l'analyse est fondamental car il reflète la question posée par l'expérimentateur. En effet chaque point de vue correspond à un objectif bien précis. Ainsi, en prenant un tableau espèces x profondeurs par île, on s'intéressera à la répartition verticale moyenne des espèces et à son éventuelle variabilité d'une île à l'autre. Avec un tableau espèces x îles par profondeur, on décrira la répartition géographique moyenne des espèces et sa variabilité selon la profondeur. Enfin, présenter un tableau île x profondeur pour chaque espèce nous amènera à décrire la répartition moyenne de la ressource dans l'espace, toutes espèces confondues, et à étudier la variabilité spécifique autour de cette moyenne.

**1.2.3. Approche par les Variables Instrumentales : Analyse en Composantes Principales sur Variables Instrumentales**

L'approche par les Analyses sur Variables Instrumentales (Rao, 1964 ; Sabatier *et coll.*, 1989, Lebreton *et coll.*, 1991), combine l'ACP ou l'AFC d'un tableau de variables à expliquer (échantillons-espèces) avec une régression linéaire sur un second tableau de variables explicatives (échantillons-variables instrumentales). Elle a été utilisée récemment par Pech et Laloë (1997) pour l'analyse de la structuration spatio-temporelle de rendements de pêche.

Dans le cas où les variables instrumentales sont qualitatives, l'analyse sur variables instrumentales consiste à décomposer la variance totale du tableau de données selon le principe de l'analyse de variance (Figure 3). Dans le cas qui nous intéresse, le tableau de données à expliquer, Y, à 11 colonnes-espèces et 36 lignes est associé à 2 variables explicatives à 6 modalités chacune qui sont l'île et la profondeur ; le plan est équilibré : toutes les combinaisons sont également représentées. L'analyse de variance des 11 variables décompose le tableau Y en la somme des tableaux  $Y_{île}$  et  $Y_{prof}$  qui prennent en compte les effets principaux, et d'un tableau  $Y_{île,prof}$  correspondant à l'interaction entre île et profondeur. Dans notre cas, il n'y a pas de répétitions : chaque combinaison île-profondeur définit une seule observation et il est donc impossible de distinguer l'interaction de la résiduelle.

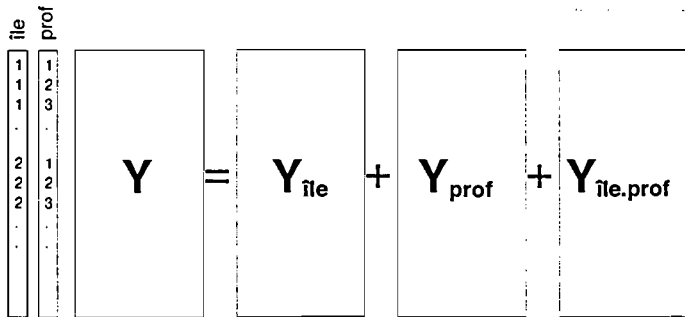


Figure 3 : L'approche par les variables instrumentales. Le tableau de données centrées-réduites Y, associé à deux facteurs de variation (île et profondeur), peut se décomposer selon le principe des analyses de variance en un tableau de moyennes par île ( $Y_{île}$ ), un tableau de moyennes par profondeur ( $Y_{prof}$ ) et un tableau d'interaction île.profondueur, équivalent à la résiduelle s'il n'y a pas de répétitions. L'ACP de chacun de ces tableaux est l'ACPVI selon respectivement l'île, la profondeur et l'interaction.

Le programme utilisé pour cette analyse (Vey, 1998) permet de décomposer les effets dus à 3 facteurs qualitatifs et de reconstituer les variables de Y à partir des axes des ACPVI. Il ne permet pas d'effectuer d'AFCVI, par conséquent, nous présenterons ici les résultats d'une ACPVI. Dans notre cas, il y a assez peu de différence entre les résultats de l'une et de l'autre, en raison de la forte stabilité des données transformées en logarithme.

## 2. Résultats

### 2.1. AFC simple

Dans une première étape, nous avons réalisé une AFC du tableau à 36 lignes et 11 colonnes. Les deux premiers axes prennent en compte respectivement 57 et 15% de l'inertie du tableau (Figure 4a). Cette analyse ne considère pas explicitement l'appartenance d'un relevé à une île ou à une profondeur, mais le calcul des points-moyens par île (Figure 4b) ou par profondeur (Figure 4c) et leur superposition sur la projection des lignes sur les axes en facilite l'interprétation.

L'axe 1 est prépondérant. Il exprime clairement le gradient bathymétrique (Figure 4b). Ce gradient correspond à une succession d'espèces (Figure 4d) des couches supérieures (125 / 175 m) puis intermédiaires (225 / 275 m), puis profondes (325 / 375 m).

L'axe 2 prend en compte seulement 15% de l'inertie et son interprétation est moins évidente (Figure 4c). La variabilité autour des points-moyens par île apparaît ici bien plus forte que pour la profondeur. On observe cependant une différenciation entre Santo-Malekula (au Nord-Ouest), Vanuatu Est et Centre et Efate, et enfin Tanna (au Sud-Est).

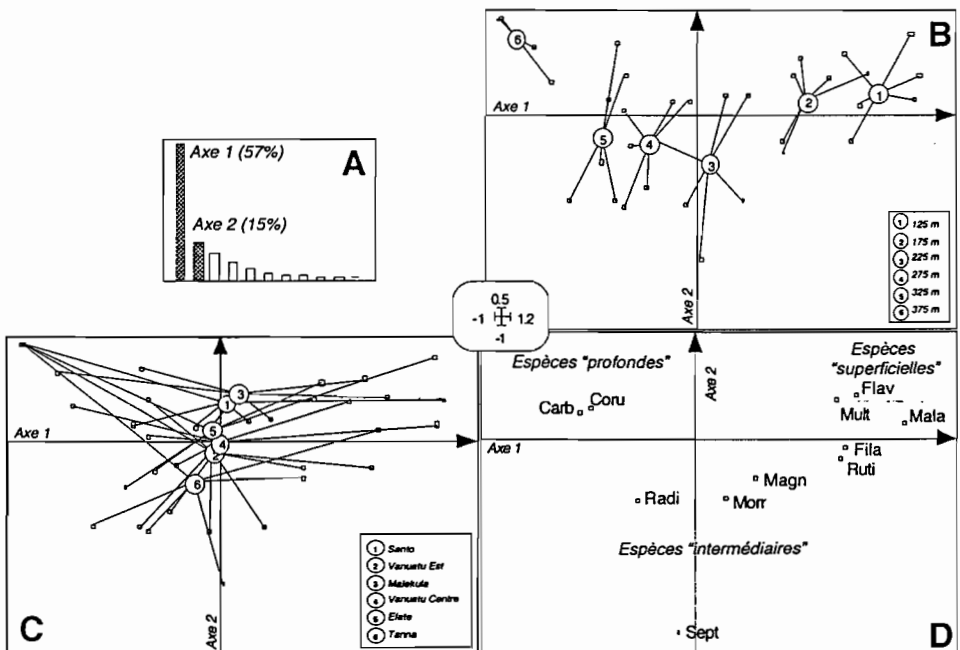


Figure 4 : Résultats de l'AFC du tableau à 36 lignes et 11 colonnes. A : histogramme des valeurs propres. B : Projection des 36 lignes sur le plan défini par les axes 1 et 2. Les points-moyens par profondeur sont superposés. C : Projection des 36 lignes sur le plan défini par les axes 1 et 2. Les points-moyens par île sont superposés. D : Projection des 11 colonnes-espèces sur le plan factoriel 1-2. Trois groupes d'espèces peuvent être identifiés en fonction de la profondeur. Légende des espèces : Carb : *Etelis carbunculus*, Coru : *Etelis coruscans* ; Radi : *Etelis radius* ; Fila : *Pristipomoides filamentosus* ; Flav : *Pristipomoides flavipinnis* ; Mult : *Pristipomoides multidens* ; Magn : *Epinephelus magniscuttis* ; Morr : *Epinephelus morrhua* ; Sept : *Epinephelus septemfasciatus* ; Mala : *Lutjanus malabaricus* ; Ruti : *Aphaeus rutilans*.

## 2.2. AFC de Foucart

L'AFC nous ayant permis de mettre en évidence la prépondérance du gradient bathymétrique, nous choisissons dans l'approche multi-tableaux de considérer un tableau espèces x profondeurs par île, afin d'étudier la variabilité géographique du gradient bathymétrique moyen.

L'analyse d'inertie du tableau compromis permet de retrouver sur le premier axe, représentatif de 87% de l'inertie totale (Figure 5a), le gradient de profondeur déjà observé sur l'AFC simple (Figure 5b).

L'analyse de la stabilité de cette structuration verticale moyenne d'une île à l'autre se fait en projetant les lignes (Figure 5c) et les colonnes (Figure 5d) des tableaux initiaux sur les axes du compromis. Une représentation graphique multifenêtrée par tableau (donc par île) en facilite l'interprétation.

Sur la projection des lignes (Figure 5c), on observe une déstructuration du gradient bathymétrique du Nord-Ouest (Santo-Malekula) vers le Sud-Est (Tanna). Ce phénomène est à relier à la contribution apportée par les espèces de la couche intermédiaire à l'axe 2 (Figure 5b), espèces plus abondantes dans le Sud-Est de l'archipel.

La projection des espèces (Figure 5d) permet de noter quelques anomalies par rapport au compromis, comme la présence en profondeur à Malekula de *E. morrhua*, espèce de la couche intermédiaire, ou bien la forte abondance de *E. radiosus*, généralement localisée dans la couche 325 m, jusqu'à 375m à Vanuatu Centre, ou encore la présence de *E. magniscuttis* dans les couches plus superficielles à Tanna.

## 2.3. ACPVI

Nous avons réalisé l'ACPVI du tableau selon les effets principaux île et profondeur et l'interaction île-profondeur. Les résultats sont présentés sur la figure 6.

Comme en ACP normée classique, les axes s'interprètent à l'aide des cercles de corrélations avec les modalités du facteur considéré. Ainsi, dans l'ACPVI selon l'île (Figure 6a), deux axes sont interprétables (50 et 26%) et sont définis respectivement par Tanna et Vanuatu Est. Dans l'ACPVI selon la profondeur (Figure 6b), on retrouve une fois encore le gradient de profondeur prépondérant sur l'axe 1 (76%).

Pour chaque ACPVI, les espèces sont projetées à l'intérieur de cercles de corrélation définis par des couples d'axes, comme en ACP normée classique (Figure 6c,d,e). Chaque espèce est représentée par 2 points, reliés par un segment de droite. Le point intérieur donne la corrélation entre la variable totale (avant modèle) et les axes concernés. Le point extérieur donne la corrélation entre la variable modélisée et les axes. Elevé au carré, le rapport entre les distances à l'origine de ces deux points, donne un  $R^2$ , indicateur de la part de variation expliquée par le facteur considéré (île, profondeur ou interaction), pour la variable étudiée (espèce). On peut de cette manière quantifier l'influence des facteurs géographique et bathymétrique sur les variations d'abondance de chaque espèce : ainsi *E. septemfasciatus* est une espèce dont l'abondance varie à la fois selon la profondeur (0.34) et selon l'île (0.35), tandis que *E. carbunculus* est une espèce à variabilité essentiellement verticale (0.83 pour la profondeur et 0.05 seulement pour l'île). En faisant la moyenne des  $R^2$  spécifiques pour les 11 espèces, on obtient un  $R^2$  global, qui permet de classer les effets par ordre d'influence : ici on confirme la prépondérance de l'effet profondeur (0.53) par rapport à l'effet île (0.14), les 0.32 restants étant imputables à l'interaction, impossible à distinguer de la résiduelle. En règle générale, les espèces des couches supérieure et inférieure sont bien modélisées par le facteur profondeur, à la différence des espèces de la couche intermédiaire (Figure 6d).

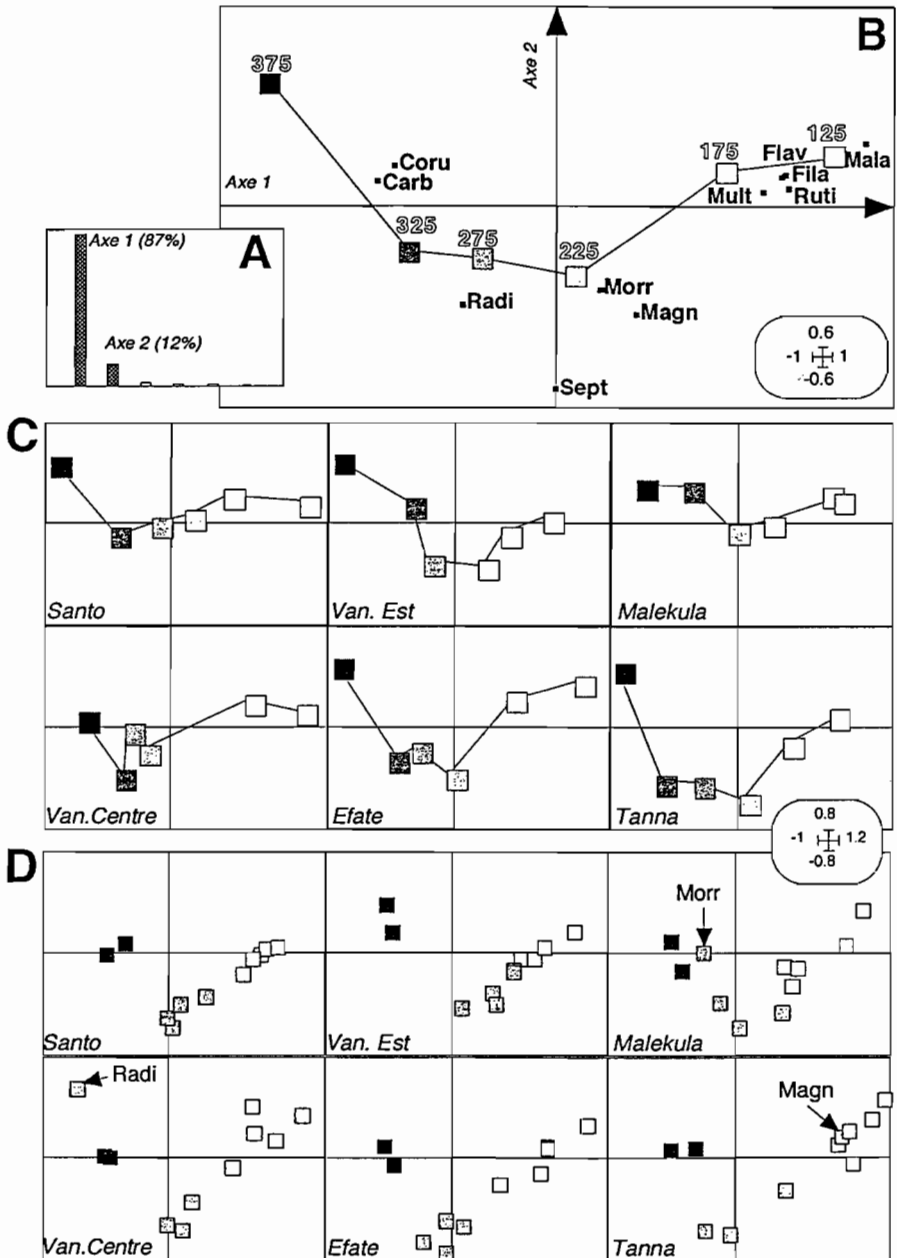


Figure 5 : Résultats de l'AFC de Foucart. A : Histogramme des valeurs propres. B : Projection des lignes (profondeurs) et des colonnes (espèces) sur les axes 1 et 2 de l'analyse du compromis. C : Projection des lignes (profondeurs) des 6 tableaux initiaux sur les axes 1 et 2 du compromis ; multifenêtrage par île. Les profondeurs sont figurées par des grisés allant du plus clair (125m) au plus foncé (375m). D : Projection des colonnes (espèces) des tableaux initiaux sur les axes 1 et 2 du compromis. En grisé clair, les espèces « superficielles », en grisé moyen les espèces « intermédiaires », en grisé foncé les espèces « profondes ». Seuls les points remarquables sont identifiés par leur code.



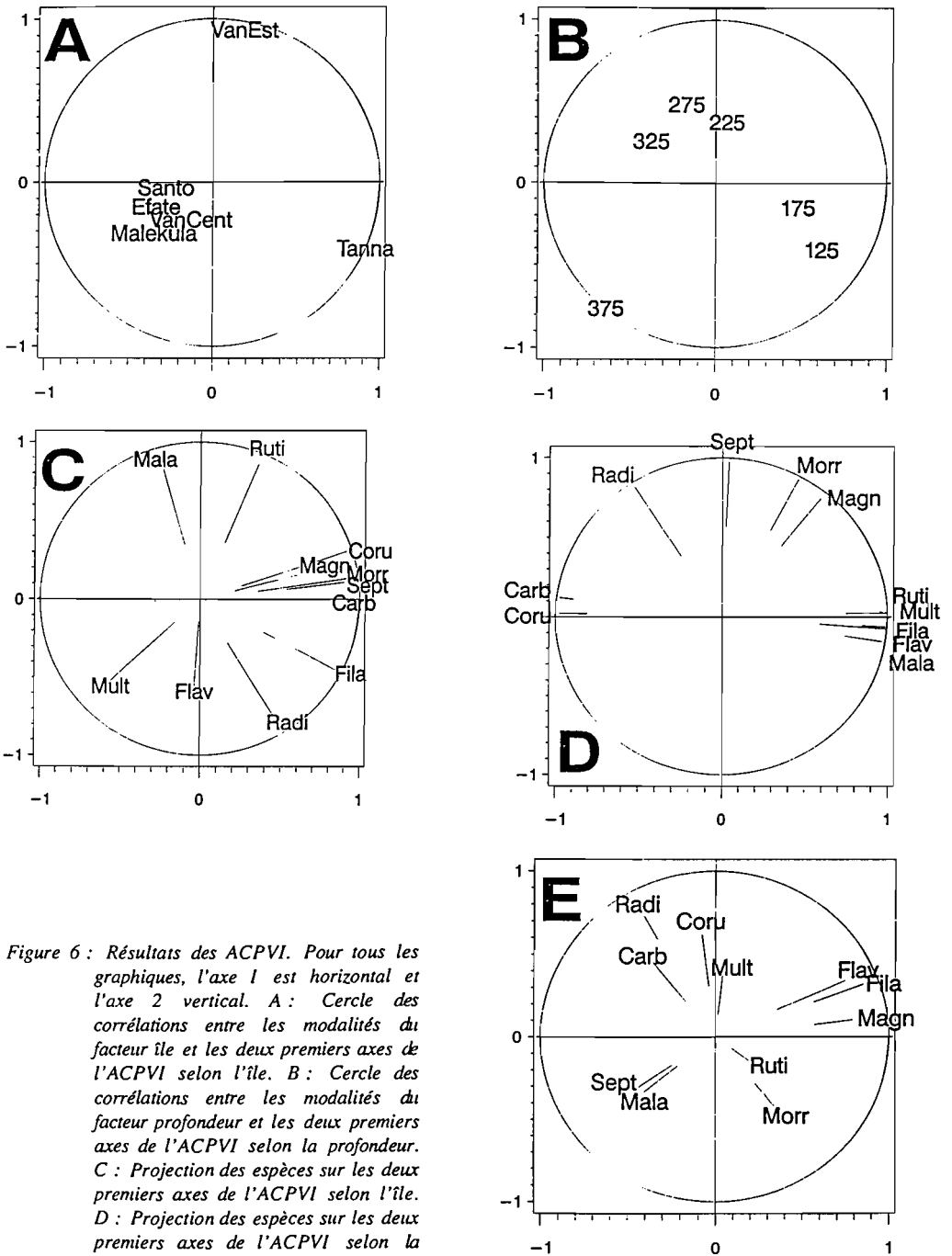


Figure 6 : Résultats des ACPVI. Pour tous les graphiques, l'axe 1 est horizontal et l'axe 2 vertical. A : Cercle des corrélations entre les modalités du facteur île et les deux premiers axes de l'ACPVI selon l'île. B : Cercle des corrélations entre les modalités du facteur profondeur et les deux premiers axes de l'ACPVI selon la profondeur. C : Projection des espèces sur les deux premiers axes de l'ACPVI selon l'île. D : Projection des espèces sur les deux premiers axes de l'ACPVI selon la profondeur. E : Projection des espèces sur les deux premiers axes de l'ACPVI selon l'interaction île\*profondeur.

Au vu de ces projections, nous allons maintenant tenter de reconstituer les variations des deux espèces précitées (*E. septemfasciatus* et *E. carbunculus*) à partir des axes des ACPVI.

Pour *E. septemfasciatus*, un modèle fondé sur l'axe 1 de l'ACPVI selon l'île (Figure 7a) rend compte de la variabilité assez importante entre îles mais pas du gradient de profondeur. Un modèle fondé sur l'axe 2 de l'ACPVI selon la profondeur (Figure 7b) permet de reconstituer ce gradient, mais le reproduit à l'identique pour les 6 îles. Ce second modèle sous-estime considérablement l'abondance de *E. septemfasciatus* à Vanuatu Est et Tanna. L'addition de ces deux modèles (île et profondeur) et de l'interaction île-profondeur reconstituée à partir des axes 1 et 2 de l'ACPVI correspondante (Figure 7c), permet de reproduire plus fidèlement la variabilité de *E. septemfasciatus* (Figure 7d).

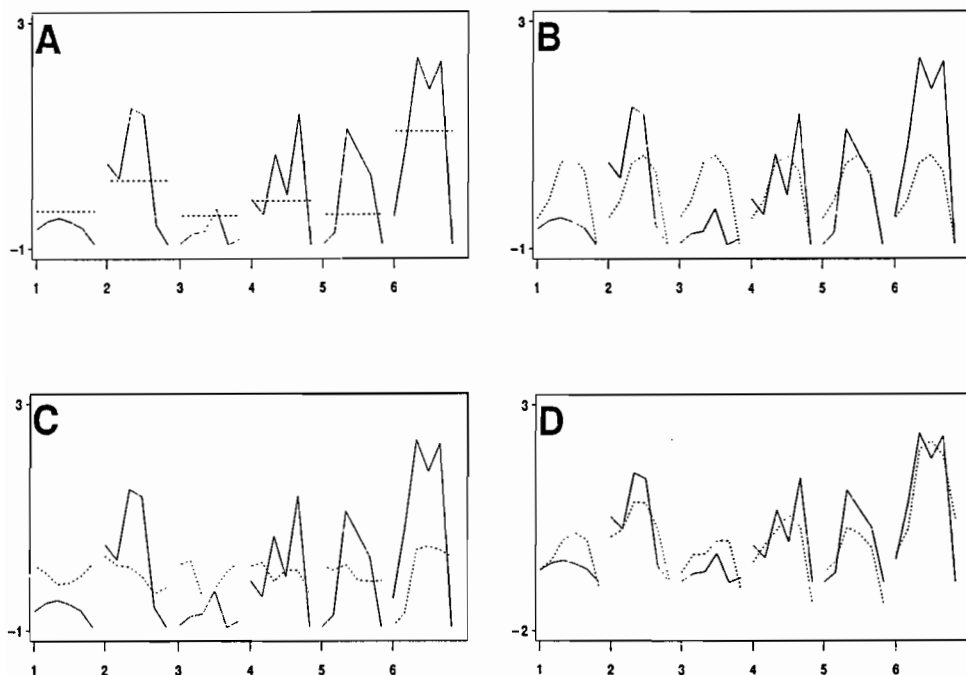


Figure 7 : Reconstitution des variations de CPUE (en  $\log(\text{kg/j.l.})$ ) pour l'espèce *E. septemfasciatus* à partir des axes des ACPVI. A : Axe 1 de l'ACPVI selon l'île. B : Axe 2 de l'ACPVI selon la profondeur. C : Axes 1 et 2 de l'ACPVI selon l'interaction. D : Addition des 3 précédents modèles : Axe 1 (île) + Axe 2 (profondeur) + Axes 1 et 2 (île\*profondeur). Sur chaque graphe, le gradient bathymétrique par île est représenté par un trait plein pour les valeurs observées et un pointillé pour la reconstitution. 1 : Santo ; 2 : Vanuatu Est ; 3 : Malekula ; 4 : Vanuatu Centre ; 5 : Efate ; 6 : Tanna.

L'abondance de *E. carbunculus* augmente avec la profondeur, de manière assez similaire quelle que soit l'île. La reconstitution de sa variabilité à partir d'un modèle fondé sur l'axe 1 de l'ACPVI selon l'île (Figure 8a) ne présente donc aucun intérêt. A l'inverse, un modèle fondé sur l'axe 1 de l'ACPVI selon la profondeur (Figure 8b) reconstitue assez fidèlement la variabilité de cette espèce. On n'apporte que peu d'information supplémentaire en additionnant l'effet île, l'effet profondeur et leur interaction, ici encore reconstituée à partir des axes 1 et 2 de l'ACPVI correspondante (Figure 8c). On constate cependant que ce dernier modèle (Figure 8d) améliore sensiblement la reconstitution pour la zone Sud-Est de l'archipel : Vanuatu Centre, Efate et Tanna.

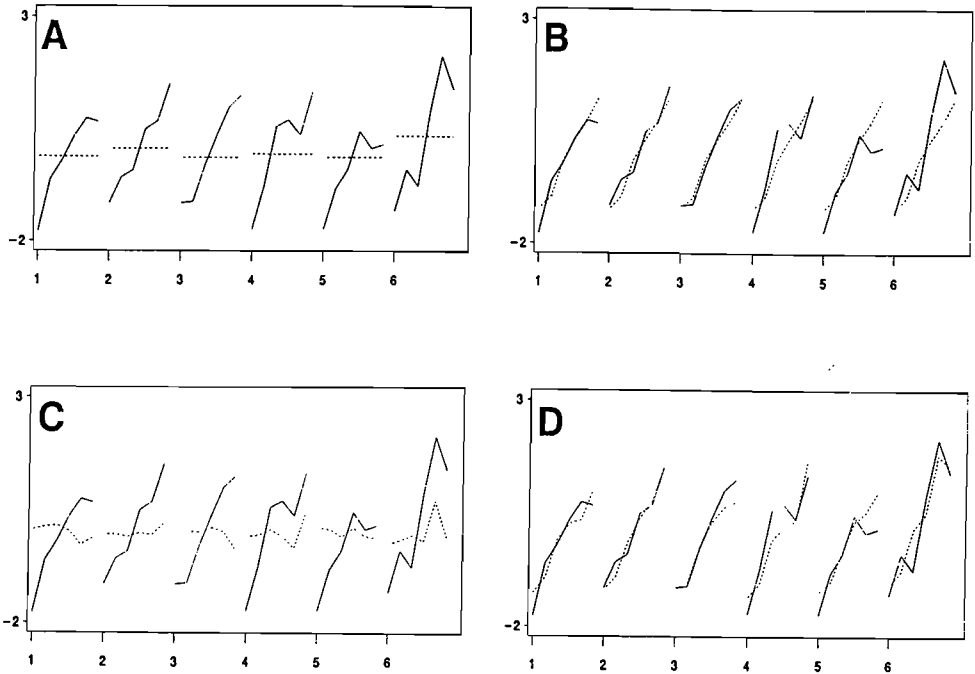


Figure 8 : Reconstitution des variations de CPUE (en log(kg/j.l.)) pour l'épèce *E. carbunculus* à partir des axes des ACPVI. A : Axe 1 de l'ACPVI selon l'île. B : Axe 1 de l'ACPVI selon la profondeur. C : Axes 1 et 2 de l'ACPVI selon l'interaction. D : Addition des 3 précédents modèles : Axe 1 (île) + Axe 1 (profondeur) + Axes 1 et 2 (île\*profondeur). Sur chaque graphe, le gradient bathymétrique par île est représenté par un trait plein pour les valeurs observées et un pointillé pour la reconstitution. 1 : Santo ; 2 : Vanuatu Est ; 3 : Malekula ; 4 : Vanuatu Centre ; 5 : Efate ; 6 : Tanna.

### Conclusion

En conclusion, nous discuterons des avantages respectifs des trois méthodes employées ici et de leur apport pour l'étude de la ressource dans le cadre de cette étude

L'AFC simple permet d'extraire la structure prédominante des données. Dans le cas présent, nous avons mis en évidence la structuration de la présence des espèces en fonction de la profondeur en identifiant ainsi des habitats dans la dimension verticale.

Dans le cas où un double niveau de structuration spatiale et/ou temporelle de la ressource (ici bathymétrie et géographie) permet de considérer le jeu de données comme un cube, une analyse multi-tableaux apporte une dimension dynamique à l'étude. Elle permet d'aborder trois questions différentes selon le point de vue dans lequel on se place par rapport au cube de données. Nous avons choisi ici de privilégier une étude de la structuration verticale moyenne des espèces et de sa reproductibilité dans l'espace géographique. L'image moyenne renvoyée par l'analyse du compromis est celle d'une structuration des espèces avec la profondeur. La projection sur ce compromis des situations propres à chaque île permet d'observer une déstructuration progressive du gradient bathymétrique du Nord-Ouest vers le Sud-Est de l'archipel où les espèces inféodées à la couche intermédiaire sont particulièrement abondantes, et également de mettre en évidence des localisations marquées de certaines espèces.

A la différence de l'AFC de Foucart, où le compromis est une moyenne simple des tableaux initiaux, l'Analyse Triadique Partielle, version ACP de ce type de méthode, utilise des

pondérations privilégiant la ressemblance entre tableaux. Dans le cas que nous avons traité ici, la différence est peu sensible, du fait de la forte ressemblance des îles entre elles. Dans d'autres cas, outre la question du choix entre ACP et AFC, cette différence devra entrer en ligne de compte dans le choix de la méthode. L'ATP sera particulièrement indiquée dans la situation d'un tableau « atypique » par rapport aux autres, dont l'influence sur la définition du compromis se trouvera ainsi limitée.

Les analyses sur variables instrumentales permettent, quant à elles, de décomposer la variabilité d'un tableau selon plusieurs facteurs explicatifs, qualitatifs ou quantitatifs, et selon leurs interactions, s'apparentant en cela aux régressions linéaires et analyses de variance. Ces méthodes permettent de quantifier la part de variation imputable aux différents facteurs explicatifs (dans notre étude la bathymétrie et la géographie). Ainsi nous avons mis en évidence la permanence des espèces de la strate profonde et de la strate superficielle, avec une faible variation géographique de leurs habitats. A l'inverse, l'abondance des espèces de la strate intermédiaire varie davantage selon l'île. Ce type d'analyse permet également de reconstituer les données à partir des axes des ACPVI, ce qui présente un intérêt évident de modélisation.

Un avantage de l'approche par variables instrumentales par rapport aux méthodes multi-tableaux est qu'elle permet de prendre en compte plus de deux variables explicatives à la fois. Son inconvénient majeur résulte de la régression linéaire sous-jacente : si les variables de milieu sont trop nombreuses en regard de la quantité d'observations, l'analyse n'a plus aucun sens. Ce n'est heureusement pas le cas ici.

En raison de contraintes techniques, nous avons présenté ici les résultats d'une ACP sur Variables Instrumentales. Une AFCVI, portant sur l'effet île, fournirait des résultats strictement équivalents à l'AFC de Foucart que nous avons réalisée avec un tableau par île. De même, une AFCVI sur la variable profondeur équivaldrait à une AFC de Foucart avec un tableau par profondeur. Il n'existe pas d'équivalent en AFCVI à l'analyse multi-tableaux qui choisirait le point de vue d'un tableau par espèce.

Les Analyses Factorielles Simples et de Foucart présentées ici ont été réalisées avec le logiciel ADE-4 (Thioulouse *et coll.*, 1997), en libre diffusion sur internet à l'adresse <http://pbil.univ-lyon1.fr/ADE-4/ADE-4.html>. La mise en oeuvre de l'ACPVI utilise le macro-programme *species.sas* développé sous macro-langage SAS par Vey (1998), et accessible par ftp anonyme sur <ftp.mpl.ird.fr> dans le répertoire /pub/acpvi.

## Remerciements

Nous remercions Francis Laloë de l'IRD Montpellier pour ses conseils avisés dans la réalisation de ce travail.

## Références bibliographiques

- BLANC, L., D. CHESSEL, et S. DOLEDEC (1998). Stabilité temporelle des structures spatiales. I - Analyses d'une série de tableaux de relevés faunistiques totalement appariés. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* : 348, 1-21.
- FOUCART, T. (1978) Sur les suites de tableaux de contingence indexés par le temps. *Statistique et Analyse des données* : 2, 67-84.
- FOUCART, T. (1983) Une nouvelle approche de la méthode STATIS. *Revue de Statistique Appliquée* : 31, 61-75.
- LAVIT, Ch., Y. ESCOUFIER, R. SABATIER, et P. TRAISSAC (1994) The ACT (Statist method). *Computational Statistics and Data Analysis* : 18, 97-119.
- LEBRETON, J.D., R. SABATIER, G. BANCO, et A.M. BACOU (1991) Principal component and correspondence analyses with respect to instrumental variables: an overview of their role in studies of structure-activity and species- environment relationships. In : *Applied Multivariate Analysis in SAR and Environmental Studies*. Devillers, J. & Karcher, W. (Eds.) Kluwer Academic Publishers. 85-114.

- LEBRETON, J.D. (1997) L'espace en dynamique des populations. Quelques considérations statistiques. *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement. journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS.* (F. Blasco, coord.) CNRS. Elsevier ed. : 3-18.
- PECH, N. et F. LALOË (1997) Use of Principal Component Analysis with Instrumental Variables (PCAIV) to analyse fisheries catch data. *ICES Journal of Marine Science* : 54, 32-47.
- RAO, C.R. (1964) The use and interpretation of principal component analysis in applied research. *Sankhya, A* : 26, 329-359.
- SABATIER, R., J.D. LEBRETON, et D. CHESSEL (1989) Principal component analysis with instrumental variables as a tool for modelling composition data. In : *Multiway data analysis.* Coppi, R. & Bolasco, S. (Eds.) Elsevier Science Publishers B.V., North-Holland. 341-352.
- THIOULOUSE, J. et D. CHESSEL (1987) Les analyses multi-tableaux en écologie factorielle. I De la typologie d'état à la typologie de fonctionnement par l'analyse triadique. *Acta Ecologica, Ecologia Generalis* : 8, 4, 463-480.
- THIOULOUSE, J., D. CHESSEL, S. DOLEDEC, et J.M. OLIVIER (1997) ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and Computing* : 7, 75-83.
- VEY, P. (1998) SPECIES SAS, Macro SAS qui réalise une ACPVI. *Centre ORSTOM de Montpellier. Laboratoire halieutique et écosystèmes aquatiques (HEA)*, 1-33.

Cillaurren Espérance, Simier Monique, Blanc L. (1998)

Structuration spatiale de la ressource halieutique :  
exemple d'une pêcherie démersale à Vanuatu  
(Océanie)

In : Duby C. (ed.), Gouet J.P (ed.), Laloë Francis (ed.).  
*Biométrie et halieutique*

Paris : Société Française de Biométrie, p. 93-105.  
(Comptes-Rendus des Sessions de la Société Française  
de Biométrie ; 15)

Journées de la Société Française de Biométrie, Rennes  
(FRA), 1998/05/26-28.