

Application de l'analyse de variance locale à deux termes de quadrats (TTLQV) dans l'évaluation des populations d'invertébrés marins : premières conclusions sur l'holothurie *Actinopyga echinites*

Grant Leeworthy¹

Résumé

L'analyse de variance locale à deux termes de quadrats (TTLQVA) (Hill 1973) peut s'appliquer à la quantification des caractéristiques spatiales des populations d'invertébrés marins. Cette méthode représente un progrès crucial dans la conception précise d'études de populations et de programmes de suivi de ressources, qui mettent en évidence une répartition de faible à moyenne envergure. Les données issues de la technique d'analyse des caractéristiques spatiales peuvent être utilisées pour fonder des décisions de stratification plutôt que de se fier à "l'intuition" comme le proposent Andrews et Mapstone (1987). L'examen des caractéristiques spatiales permet de s'assurer que les programmes de suivi soient conçus de manière à pouvoir mesurer la répartition et l'abondance à une échelle adaptée à la population. Cette méthode est volontiers appliquée à l'environnement marin et ce grâce à l'utilisation de techniques classiques de comptage visuel en plongée. La méthode a été utilisée pour évaluer les populations d'holothuries brunes (*Actinopyga echinites*), une holothurie tropicale abondante dans la région Indo Pacifique sur les plates-formes calcaires érodées situées entre 0,5 et 7 m de profondeur. L'espèce a été choisie pour cette étude parce que sa population n'a pas fait l'objet d'une pression de pêche préalable.

Introduction

La conception d'un programme d'échantillonnage qui décrit comme il convient une population d'organismes marins est une tâche ambitieuse. Le recensement des populations est commandé pour plusieurs raisons, y compris le suivi de l'évolution de l'environnement et l'évaluation des ressources halieutiques. Le processus de mise au point d'une étude des stocks nécessite : 1) l'examen des ressources disponibles pour la réalisation de l'étude, 2) la biologie et la répartition potentielle de l'organisme cible, 3) le niveau souhaité de précision et d'exactitude des estimations, et 4) le type, le nombre et l'emplacement des unités d'échantillonnage afin de pondérer ces objectifs. Souvent les ressources disponibles pour mener à terme une étude sont restrictives et un équilibre doit être trouvé entre des objectifs conflictuels de précision et de réduction des coûts au strict minimum (Pitcher et al. 1992). L'une des insuffisances des méthodes traditionnelles d'évaluation des stocks a été l'incapacité de tenir compte comme il convient des caractéristiques spatiales circonscrites de la population présentant un intérêt. Une population pouvant révéler des caractéristiques de répartition aléatoire, uniforme ou irrégulière sur plusieurs échelles de mesure, il importe que les échantillonnages tiennent compte de cet élément. Une évolution récente vers l'utilisation d'échantillonnages plus systématiques, par opposition à aléatoire ou anarchique, a permis de constater l'attention accrue accordée à l'utilité de programmes d'échantillonnage afin de cartographier la répartition d'une espèce (par exemple Cochran 1977; Hender et al. 2001; Skewes et al. 2000; Mayfield et al. 2004; Chick et

al. 2006; McGarvey 2006; Leeworthy 2007a,b). Ces informations spatiales constituent un puissant outil pour le suivi des programmes d'évaluation et de gestion des incidences de la pression de pêche et des autres perturbations environnementales.

Plusieurs méthodes d'analyse des caractéristiques spatiales, destinées à évaluer l'environnement marin ont été mises à l'épreuve. La méthode qui consiste à utiliser comme référence le plus proche voisin (Byth et Ripley 1980; Byth 1982; Officer et al. 2001) s'est avérée récemment peu pratique à appliquer dans l'environnement marin (McGarvey et al. 2005; McGarvey 2006). Il a été démontré que les méthodes de variance de quadrats permettent de décrire de manière satisfaisante les caractéristiques spatiales dans les études écologiques terrestres. Ces méthodes sont fondées sur l'examen de l'évolution de la moyenne et de la variance du nombre de spécimens par unité d'échantillonnage sur un éventail de tailles différentes d'échantillons (Ludwig et Reynolds 1998). Les données sont obtenues à l'aide de transects à bandes de quadrats contigus (c'est-à-dire de séries de quadrats reliés directement les uns aux autres ou de manière linéaire à travers la population concernée). La variance du nombre des spécimens est calculée en fonction de différentes «tailles des blocs». Celles-ci sont obtenues en combinant progressivement les quadrats N (donc en augmentant la taille théorique de l'unité d'échantillon) selon une méthode prescrite (Ludwig et Reynolds 1998). Dans les populations à répartition dispersée ou en bouquets (comme c'est le cas de nombreuses espèces d'holothuries), le pic de variance (la variance maximale) peut être interprété comme équivalant au rayon du bouquet.

1. Tasmanian Seafoods, 13-17 Redgum Drive, Dandenong South, VIC 3175, Australie. Courriel : grantl@tasmanianseafoods.com.au

L'analyse de variance locale à deux termes de quadrats (TTLQV) est une modification des méthodes élémentaires de variance de blocs de différentes tailles (BQV), destinées à l'analyse des caractéristiques spatiales, qui sont limitées aux puissances 2 (Ludwig et Reynolds 1988). Le TTLQV utilise les données de variance de manière analogue à la méthode des BQV, bien que son système de blocs soit plus affiné dans ses calculs afin de contourner la limitation liée aux BQV. Cet article rend compte de l'application réussie du TTLQV pour l'évaluation des caractéristiques spatiales des populations implantées dans l'environnement marin, en utilisant l'holothurie *Actinopyga echinites*, et il traite des avantages de cette méthode relativement simple.

Méthodes

Le site de l'étude était un platier récifal érodé situé de 3 à 5 m de profondeur dans les Montebello Islands, en Australie occidentale. La population concernée était l'holothurie *Actinopyga echinites* (figure 1). Un mesureur à fil perdu de ceinture et une station d'échantillonnage ont été utilisés pour réaliser des transects de quadrats contigus en appliquant la méthode décrite par Leeworthy et Skewes (voir l'article figurant à la page 5). La principale différence était qu'un inventaire (nombre de *A. echinites*) a été réalisé (pour chaque mètre parcouru) et enregistré sur la fiche sur laquelle le plongeur note ses observations. La station d'échantillonnage ne mesurait que 1,25 m de largeur en raison de la nature cryptique de l'espèce inféodée aux herbiers. Un quadrat représentait une superficie de 1 m x 1,25 m. Trois répliques de transects de 200 quadrats contigus

chacun ont été réalisées sur une superficie où une forte abondance d'*A. echinites* avait été antérieurement repérée ou bien où la population était censée se développer.

L'analyse a été conduite selon les indications de Hill (1973) et Ludwig et Reynolds (1988). L'équation de TTLQV pour les tailles des blocs 1, 2 et 3 figurent ci-dessous.

Tailles du bloc 1

$$\text{VAR}(X)1 = [1/(N-1)]\{[1/2(x_1-x_2)^2] + [1/2(x_2-x_3)^2] + \dots + [1/2(x_{N-1}-x_N)^2]\} \quad (1)$$

Taille du bloc 2

$$\text{VAR}(X)2 = [1/(N-3)]\{[1/4(x_1+x_2-x_3-x_4)^2] + [1/4(x_2+x_3-x_4-x_5)^2] + \dots + [1/4(x_{N-3}+x_{N-2}-x_{N-1}-x_N)^2]\} \quad (2)$$

Taille du bloc 3

$$\text{VAR}(X)3 = [1/(N-5)]\{[1/6(x_1+x_2+x_3-x_4-x_5-x_6)^2] + [1/6(x_2+x_3+x_4-x_5-x_6-x_7)^2] + \dots + [1/6(x_{N-5}+x_{N-4}+x_{N-3}-x_{N-2}-x_{N-1}-x_N)^2]\} \quad (3)$$

X est la variance d'une taille de blocs donnée, N est le nombre total de quadrats dans un transect, x_1 est le nombre de spécimens présent à l'intérieur du premier quadrat du transect, x_2 est le deuxième quadrat et x_N est le dernier quadrat. Des calculs analogues à l'équation 3 sont effectués à des tailles de blocs de plus en plus importantes (Ludwig et Reynolds 1988). Les calculs de la TTLQV ont été réalisés au moyen de Microsoft Excel, bien que l'utilisation de Microsoft Visual Basic soit recommandée pour des transects plus longs de quadrats contigus.



Figure 1. *Actinopyga echinites*.

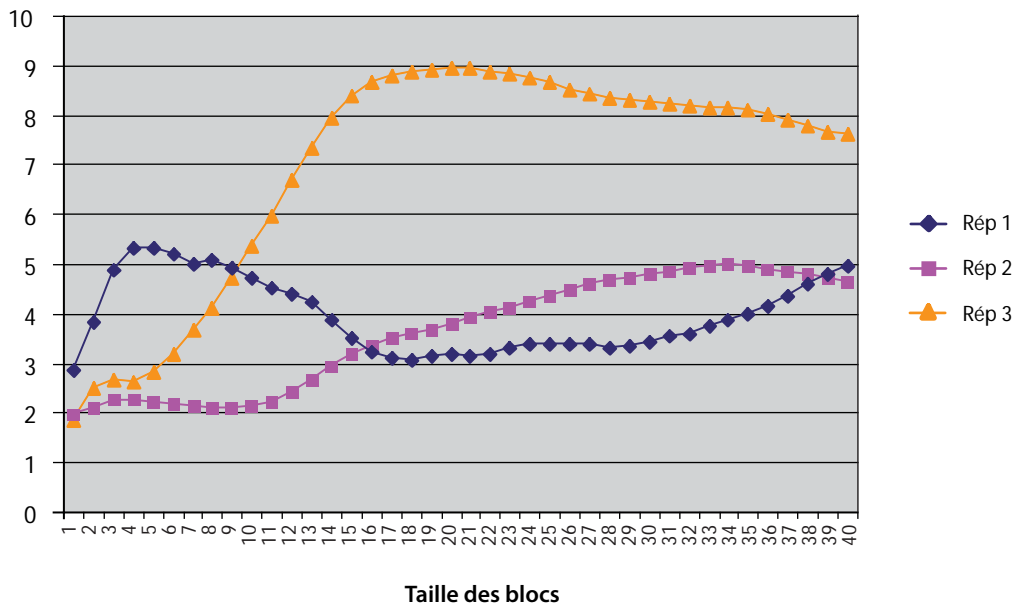


Figure 2. Variance locale à deux termes de quadrats pour *A. echinites* dans les Montebello Islands.

Résultats

Les résultats de l'analyse de la TTLQV pour *A. echinites* dans les Montebello Islands, en Australie occidentale figurent ci-dessus à la figure 2.

Tableau 1. Calcul du diamètre du bouquet à l'aide des résultats de la variance de pointe.

Variance de pointe	
Réplique 1	42
Réplique 2	34
Réplique 3	21
Variance moyenne	32
Diamètre moyen du bouquet (m)	64

Les chiffres présentés au tableau 1 donnent à penser que les unités d'échantillonnage destinées à une étude d'abondance de cette population devraient mesurer au moins 84 m de longueur (2 fois le rayon du bouquet le plus grand). Il convient de noter que s'il est vrai que le diamètre moyen du bouquet est une source d'informations pour le chercheur — il permet en effet de définir les caractéristiques spatiales de la population — lorsque ces données sont utilisées pour concevoir une étude de répartition et d'abondance, la taille maximale du bouquet devrait cependant être prise en compte pour éviter l'auto corrélation des échantillons.

Discussion

La répartition et l'abondance d'un organisme dans l'environnement marin étant souvent dispersées ou en bouquets, il importe que l'échelle spatiale de cette dispersion soit prise en compte lors de la conception d'un programme d'échantillonnage. La taille d'une unité d'échantillonnage a un effet appréciable sur la précision des estimations de l'échantillon (King 1995). Pour des espèces dont la répartition est dispersée ou concentrée, il a été suggéré que la taille de l'unité d'échantillonnage soit plus importante que la distance entre ces concentrations, de sorte que chaque unité d'échantillonnage comporte au moins une partie d'une concentration (King 1995). L'analyse de la TTLQV peut être employée pour quantifier la taille des concentrations afin que les décisions relatives à la taille et à la position de l'échantillon puissent être fondées sur une méthode quantitative plutôt que sur "l'intuition", comme le suggèrent Andrews et Mapstone (1987). C'est pourquoi, l'analyse de la TTLQV est un instrument extrêmement utile pour prendre des décisions relatives à la mise au point appropriée d'échantillonnages.

Il importe de noter que plusieurs échelles de microrépartition peuvent être observées s'agissant des populations de la plupart des organismes marins. L'une de ces échelles est celle de l'organisme individuel et de sa concentration immédiate (par exemple cinq ormeaux dans une fissure). La deuxième échelle de micro répartition est la patate plus importante, caractérisée par une forte abondance (par exemple, un pâté corallien de 600 m²). La troisième est le gradient de l'habitat environnemental (par exemple 2 km² de récif) et la quatrième est l'échelle de la pression de pêche ou de l'effet environnemental présentant un intérêt, s'il existe. Il peut aussi exister plusieurs échelles plus ou moins grandes de microrépartition, sur-

tout lorsque l'on se penche sur la complexité et les détails de l'habitat tels que la superficie spécifique (m^2/m^3) ou la rugosité du récif. Si les quatre échelles de base de répartition ci-dessus sont prises en compte lors de la mise au point des échantillons et de leur emplacement dans l'environnement, il est possible de démontrer que les résultats d'une étude sont plus fiables. L'analyse de la TTLQV donne la possibilité de quantifier ces échelles de répartition avec fiabilité.

D'aucuns soutiennent que plusieurs répliques de transects-quadrats contigus devraient être placés en groupes sur les zones où il est prévu de réaliser l'étude. La décision sur l'emplacement des radiales pourrait être fondée sur des renseignements a priori aussi limités que la connaissance de l'emplacement de la population. D'autres connaissances a priori telles que celles qui ont trait aux lignes bathymétriques et à la cartographie de l'habitat (une fois testés au moyen de l'analyse de la TTLQV) peuvent donner suffisamment de renseignements pour prendre des décisions de stratification fiables.

L'analyse de la TTLQV donne des variances de pointe pour les emplacements étudiés. Cette variance de pointe correspondant au rayon de la concentration, le diamètre d'une concentration est égal à deux fois son rayon. Dans l'hypothèse où trois répliques de transects de quadrats contigus ont été réalisées dans un endroit, la taille de la concentration la plus importante devrait être utilisée pour fonder les décisions d'échantillonnage. Il peut être aussi utile de prendre l'échelle en considération. La longueur des transects pourrait alors être fixée à une distance équivalente à au moins deux fois le diamètre le plus large de la concentration. Ces transects pourraient être tracés de manière à prendre correctement en compte les échelles plus larges de variance pour chaque zone présentant un intérêt telles que les gradients des habitats et les caractéristiques de la pression de pêche. Il importe de noter que la précision diminue au-delà d'une taille de bloc de $N/10$ pour la TTLQV. C'est pourquoi, il est recommandé que des radiales relativement longues soient tracées afin de tenir compte des échelles potentielles des caractéristiques spatiales. Trois répliques de transects de TTLQV, de 500 m de longueur, ont été réalisées pour une population semblable, sur la Grande barrière de corail, bien qu'il s'agisse de la longueur maximale possible en raison de la profondeur de l'eau (~18 m) et des contraintes imposées par la décompression qui lui était associées (Leeworthy, données non publiées).

Plusieurs extensions de l'analyse de la TTLQV ont été réalisées (Malatesta et al. 1992; Dale et Blundon 1990; Campbell et al. 1998) et il est probable qu'elles seront intégrées à d'autres méthodes pour mener des études d'invertébrés benthiques.

En ce qui concerne la gestion de la ressource, Walters et Martell (2006) ont récemment affirmé que des études directes de l'abondance sont moins utiles que des estimations de la mortalité imputable à la pêche (F). Cependant, de l'avis de l'auteur, si les différentes échelles spatiales de fonctionnement d'une pêcherie ne sont pas prises en compte directement, il est tout à fait possible qu'une estimation de F ne permettrait pas de déceler des évolutions importantes dans la biomasse. Prince (2005) traite la né-

cessité de comprendre les échelles spatiales pertinentes qui ont une incidence sur une ressource en invertébrés. Le recours à l'analyse de la TTLQV est un pas en avant dans la voie de l'acquisition d'une compréhension pleine et entière de la dynamique de telles ressources.

Remerciements

Je tiens à remercier Harry Gorfine, Tim Skewes (Centre australien pour la recherche scientifique et industrielle - CSIRO), Nick Shaw, Chantal Conand, Allen Hansen et Rick Torelli (*Queensland Sea Cucumber Association/Tasmanian Seafoods*), Rob Lowden (*Queensland Sea Cucumber Association/Seafresh*), Rick Officer (Département du secteur primaire et des pêches - DPI&F), Lou Beneti, Richard McGarvey (*South Australia research and Development Institute - SARDI*) et Adam Schapendonk.

Bibliographie

- Andrew N.L. and Mapstone B.D. 1987. Sampling and the description of spatial pattern in marine ecology. *Oceanography and Marine Biology Annual Review* 25:39-90.
- Byth K. 1982. On robust distance-based intensity estimators. *Biometrics* 38:127-135.
- Byth K. and Ripley B.D. 1980. On sampling spatial patterns by distance methods. *Biometrics* 36:279-284.
- Campbell J.E., Franklin S.B., Gibson D.J. and Newman J.A. 1998. Permutation of two-term local quadrat variance analysis: General concepts for interpretation of peaks. *Opulus Press Uppsala: Sweden. Journal of Vegetation Science* 9:41-44.
- Chick R.C., Mayfield S., Turich N. and Foureur B. 2006. Western Zone abalone (*Haliotis laevis* & *H. rubra*) Fishery 1. Region A. Fisheries assessment report to PIRSA Fisheries. South Australia Research and Development Institute (Aquatic Sciences), Adelaide. SARDI Publication No. RD05/0017-3. 124 p.
- Cochran W.G. 1977. Sampling techniques. John Wiley and Sons: New York. 428 p.
- Dale M.R.T and Blundon D.J. 1990. Quadrat variance analysis and pattern development during primary succession. *Opulus Press Uppsala: Sweden. Journal of Vegetation Science* 1:153-164.
- Hender J., McDonald C.A., and Gilligan J.J. 2001. Baseline survey of marine environments and stock size estimates of marine resources of the South Cocos (Keeling) atoll (0-15 m), Eastern Indian Ocean. Final report. Fisheries Resources Research Fund.
- Hill M. O. 1973. The intensity of spatial pattern in plant communities. *Journal of Ecology* 61:225-235.
- King M. 1995. Fisheries biology, assessment and management. Fishing News Books, Blackwell Science Ltd, Oxford 341 p.
- Leeworthy G.R. 2007a. Survey of burrowing blackfish stocks on the Great Barrier Reef, Queensland. Gould Reef, September 2004. Research Report for the Queensland Sea Cucumber Association.

- Leeworthy G.R. 2007b. Survey of burrowing blackfish stocks on the Great Barrier Reef, Queensland. Lizard Island/Waining Reef, January 2005. Research Report for the Queensland Sea Cucumber Association.
- Leeworthy G.R. et Skewes T. 2007. L'application de la méthode des transects à l'aide d'un mesureur à fil perdu de ceinture pour le comptage visuel sous-marin. La Bêche-de-mer, Bulletin de la CPS 26:5-7.
- Ludwig J.A. and Reynolds J.F. 1988. Statistical ecology – A primer on computing and methods. John Wiley and Sons: New York. 337 p.
- Malatesta R.J., Auster P.J. and Carlin B.P. 1992. Analysis of transect data for microhabitat correlations and faunal patchiness. Marine Ecology Progress Series 87:189-195.
- Mayfield S., Saunders T.M., Dixon C.D. and Ward T.M. 2004. Southern Zone abalone (*Haliotis laevigata* & *H. rubra*) fishery. Fishery assessment report to PIRSA Fisheries. South Australian Fisheries Assessment Series. Publication No. RD04/0091. 102 p.
- McGarvey R., Byth K., Dixon C.D., Day R.W., and Feenstra J.E. 2005. Field trials and simulations of point-nearest-neighbor distance methods for estimating abalone density. Journal of Shellfish Research 24:393-399.
- McGarvey R. 2006. Assessing survey methods for greenlip abalone in South Australia. South Australian Research and Development Institute (Aquatic Sciences), Adelaide, RD04/0152-2. SARDI Research Report Series No. 184. 195 p.
- Officer R.A., Haddon M. and Gorfine H.K. 2001. Distance-based estimation for abalone. Journal of Shellfish Research 20:781-786.
- Pitcher C.R., Skewes T.D., Dennis D.M. and Prescott J.H. 1992. Estimation of the abundance of the tropical lobster *Panulirus ornatus* in Torres Strait, using visual transect survey methods. Marine Biology 113:57-64.
- Prince J. 2005. Combating the tyranny of scale for halibutids: Micro-management for microstocks. Bulletin of Marine Science 76(2):557-577.
- Skewes T., Dennis D. and Burrige C. 2000. Survey of *H. scabra* (Sandfish) on Warrior Reef, Torres Strait, January 2000. CSIRO Division of Marine Research.
- Walters C. and Martell S.J.D. 2006. Stock assessment needs for sustainable fisheries management. Bulletin of Marine Science 70(2):629-638.