

# CARTOGRAPHIE KRIGÉE DES MOLLUSQUES SUSPENSIVORES COMPÉTITEURS TROPHIQUES DES HUITRES DU BASSIN DE MARENNES-OLÉRON: IMPLICATIONS POUR LA PLANIFICATION DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Pierre-Guy SAURIAU et Cédric BACHER

Université de Nantes  
Laboratoire de Biologie marine  
2, rue de la Houssinière  
F-44046, Nantes Cedex, France

---

## KRIGED MAP OF SUSPENSION-FEEDING MOLLUSCS, TROPHIC COMPETITORS OF OYSTERS, IN THE OYSTER FARMS OF MARENNES - OLÉRON BAY: IMPLICATIONS WHEN PLANNING A SAMPLING PROGRAM

**Key words:** stock assessment, stratified sampling, suspension feeder, kriging

### Abstract

*Stock assessment of wild soft-bottom molluscs has been part of a general approach to shellfish management in oyster farming in Marennes-Oléron Bay. A sampling survey is described as a stratified random sampling after optimum allocation of the sample size in each stratum.*

*The aim of this study is to illustrate the use of kriging techniques in the case of suspension-feeders. Regarding suspension-feeding molluscs, trophic competitors of the oyster *Crassostrea gigas*, the whole stratified design produced an estimation with a precision around 25%. Then the geostatistical technique, i.e. kriging, was used to depict the spatial and variability patterns of several trophic groups. The biomass data are expressed in ash-free, dry-weight units. In addition, the characteristics of the spatial distribution of suspension feeders, revealed by the kriging analysis, are compared to the initial features and results of the stratified plan*

---

**Mots clés:** peuplement benthique, échantillonnage stratifié, suspensivore, krigeage

## INTRODUCTION

L'estimation des stocks des peuplements benthiques du bassin de Marennes-Oléron s'inscrit dans un processus d'élaboration de modèles prévisionnels de gestion des cheptels conchylicoles. Focalisée sur les Mollusques benthiques non cultivés, par opposition aux Mollusques en élevage (*Crassostrea gigas* et *Mytilus edulis*), cette estimation s'est appuyée sur un échantillonnage aléatoire stratifié (Sauriau, 1987).

En complément à cette estimation globale, la répartition géographique des stocks benthiques est décrite grâce à l'emploi d'une technique d'interpolation de variables spatiales utilisée en géostatistique (Matheron, 1965).

Appliquée à l'ensemble des observations de biomasse des principaux groupes trophiques de Mollusques non cultivés, la méthode de krigeage met à jour, à la fois, certains avantages et certains inconvénients méthodologiques liés à l'utilisation d'un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié.

La finalité des résultats du krigeage est alors présentée dans l'optique d'une utilisation potentielle des cartes

d'isoplèthes de biomasse en tant que base de données (variable forçante) aux modèles analytiques développés dans le bassin de Marennes-Oléron, modèles qui permettent de quantifier l'impact des stocks non cultivés sur les performances de croissance des cheptels ostréicoles (Bacher, 1989 a, b).

## METHODES ET RESULTAS

### Plan aléatoire stratifié

La grille des observations issue du plan stratifié est représentée par la figure 1 (Sauriau, 1987). Il est à noter que l'emploi de l'allocation optimale de l'effort d'échantillonnage au sein des strates (basée sur la variance intra-strate de la biomasse et de la surface de la strate) aboutit à une faible densité d'observations dans certains secteurs du bassin, en particulier dans le panache de la Charente (Nord-Est) où chaque strate possède le minimum requis de 2 stations (flèche A, Figure. 1). A l'inverse, le nombre de stations est élevé dans les strates où la variabilité du paramètre biomasse est forte (peuplements subtidiaux du Nord-Ouest : flèche B, Figure. 1).

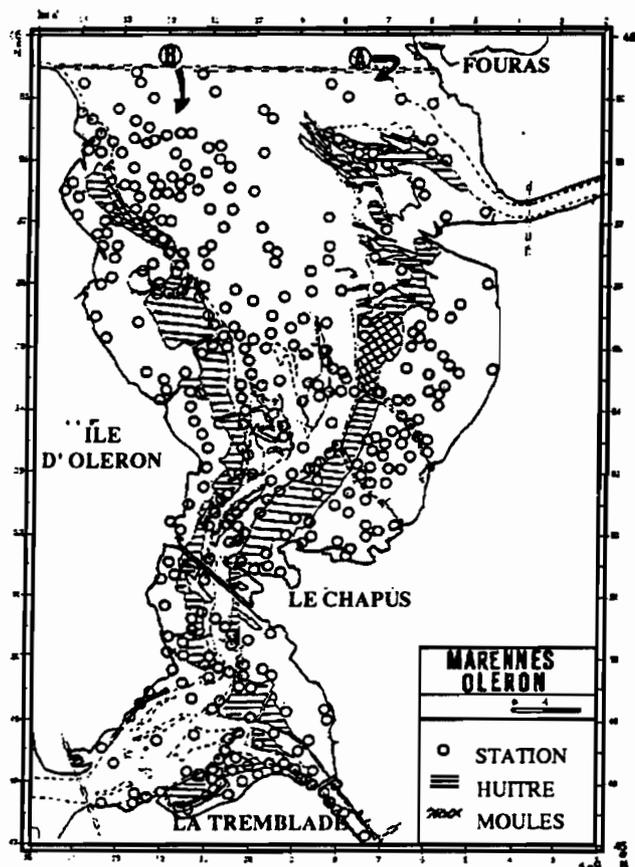


Figure 1: Carte du bassin de Marennes-Oléron. Localisation des 370 stations du plan aléatoire stratifié et position des parcs à huîtres et des bouchots à moules. Ligne continue (trait de côte), ligne pointillée (zéro des cartes marines) et ligne double tiretée (limites de la zone échantillonnée).

Figure 1: Map of Marennes-Oléron Bay. Location of the 370 stations of the random stratified plan.

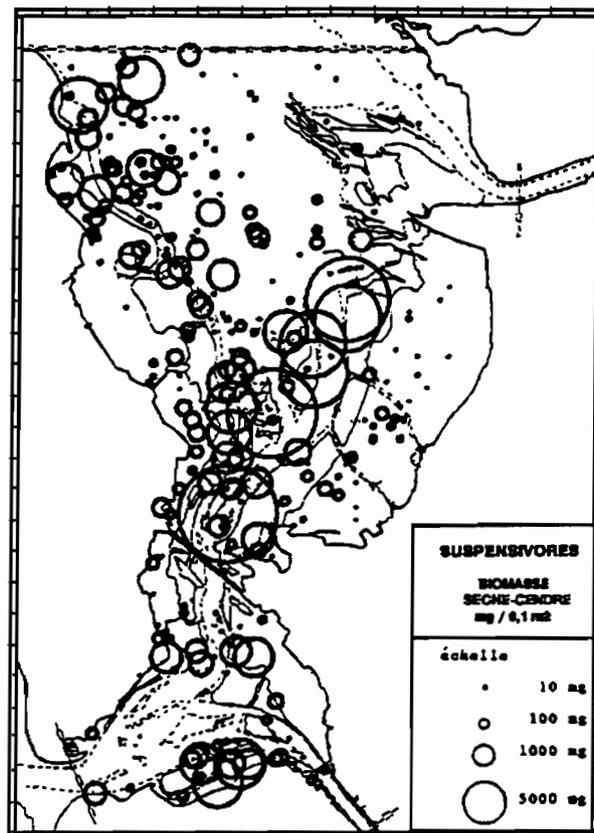


Figure 2: Répartition géographique des mollusques suspensivores. Biomasse sèche sans cendre en mg pour 0,1 m<sup>2</sup> (d'après Sauriau *et al.*, 1989).

Figure 2: Geographic distribution of suspension-feeding molluscs. Dry-weight ash-free biomass in mg/0.1 m<sup>2</sup> (after Sauriau *et al.*, 1989).

Du point de vue de la répartition géographique des Mollusques benthiques, la prédominance des déposivores dans un sédiment vaseux et des suspensivores dans un sédiment plus sableux est un principe constant des peuplements benthiques (Sanders, 1958; Levinton, 1979). De ce fait, il apparaît indispensable de tenir compte de l'éthologie alimentaire des espèces, ceci afin de pouvoir dégager la structure spatiale propre à chacun des groupes trophiques. Cinq d'entre eux peuvent être identifiés (Sauriau *et al.*, 1989): suspensivores, déposivores de surface, suspensivores-déposivores, herbivores et carnivores.

Seul le groupe des suspensivores, qui représente plus de 70% du stock total des Mollusques non cultivés, est ici présent. La répartition géographique du paramètre biomasse (masse de tissu sec sans cendre) de ce groupe apparaît sur la figure 2. Trois critères caractérisent ce stock: la plurispécificité, une forte hétérogénéité spatiale et une répartition géographique interspécifique quasi-disjointe.

En effet, 26 espèces suspensivores constituent ce stock avec 4 espèces prépondérantes: *Cerastoderma edule*, *Crepidula fornicata*, *Mytilus edulis* et *Solen marginatus* (Sauriau, 1987; Sauriau *et al.*, 1989). Une très forte variabilité spatiale des biomasses apparaît essentiellement au centre du bassin de Marennes-Oléron où de nombreux bancs compacts de *Crepidula fornicata* sont observés à

proximité des chenaux depuis une vingtaine d'années (Deslous-Paoli, 1985). De plus, la répartition géographique de ces 4 espèces semble disjointe: *Cerastoderma edule* sur les estrans du Sud et de la côte Est d'Oléron, *Crepidula fornicata* et *Mytilus edulis* au centre du bassin mais s'excluant mutuellement et *Solen marginatus* au Nord-Ouest en position subtidale.

#### Analyse géostatistique

L'ensemble des données de biomasse des suspensivores est alors soumis à l'analyse géostatistique. La variable "biomasse", préalablement transformée en logarithme décimal Log (biomasse +1), est alors considérée comme la réalisation unique d'une fonction aléatoire (F. A.). Cinq étapes caractérisent cette analyse (Delhomme, 1978):

1. **Etude structurale**: il s'agit de déterminer l'ordre  $k$  de la F. A. qui valide l'hypothèse intrinsèque (seuls les accroissements d'ordre  $k$  de cette fonction doivent valider l'hypothèse de stationnarité d'ordre 2). Les tests effectués permettent de considérer la variable "biomasse" comme une fonction aléatoire intrinsèque généralisée d'ordre 0 (F. A. I. 0). L'échelle d'observation de cette structure (taille des voisinages) est de 1 à 2 Km.

2. **Variogramme expérimental et modèle d'ajustement**: dans un premier temps, seul le variogramme isotrope est considéré (Figure 3). Un modèle sphérique

détermine par ajustement les paramètres de ce variogramme: un effet pépite de 1,5 soit 52% de la variance des observations et un palier de 2,89 voisin de la variance des observations.

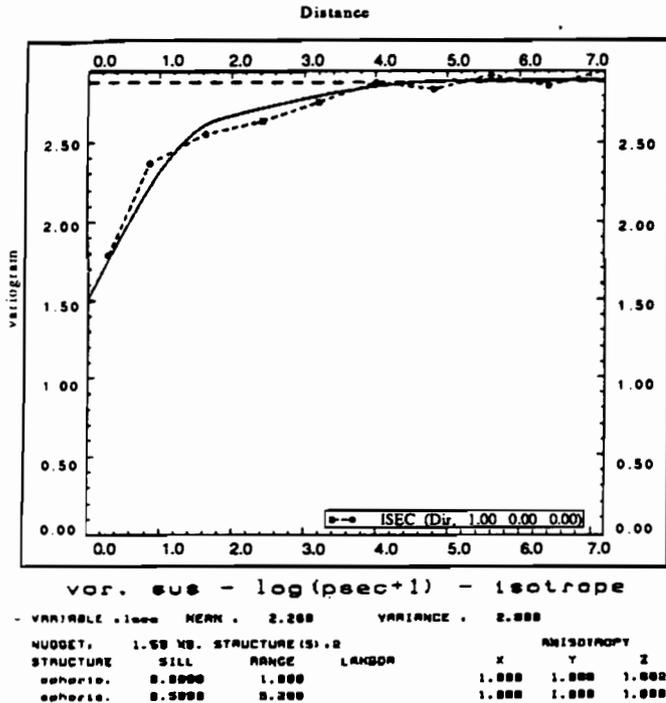


Figure 3: Variogramme isotrope et ajustement par la superposition de deux modèles sphériques. La variable retenue est le Log (biomasse + 1) des espèces suspensivores.  
 Figure 3: Isotropic variogram and adjustment by superimposition of two spheric models. The variable chosen is the log (biomass + 1) of suspension-feeding species.

Ce variogramme isotrope présente une régularité proche de celle d'un processus stationnaire. De plus apparaît la présence de deux structures emboîtées avec des portées distinctes : 1,8 et 5 km (la portée est la distance maximale au delà de laquelle il y a absence de corrélation entre deux stations). La nature composite de la variable biomasse (plurispécificité du stock des suspensivores) pourrait expliquer ce phénomène. Les problèmes d'anisotropie peuvent aussi y concourir dans la mesure où chaque structure emboîtée privilégierait un axe géographique. La prise en compte de ces problèmes d'anisotropie dans la structure spatiale montre en effet qu'il existe deux directions privilégiées : un axe Est-Ouest (portée de 2 km) et un axe Nord-Sud (portée de 5 km). Il est possible aussi d'interpréter ces portées en regard de la configuration géographique des estrans et de la zone Nord subtidale du bassin de Marennes-Oléron (Figure 1). L'effet de pépite du variogramme anisotrope explique dans chaque cas 35% de la variance des observations. Ce variogramme anisotrope n'est pas figuré.

**3. Krigeage expérimental et tests de validation.** Le krigeage expérimental permet de valider le modèle structural en tenant compte de voisinages glissants de 8 points. Deux tests valident l'hypothèse d'absence de biais systématique : l'écart moyen entre les valeurs krigées et observées doit être proche de zéro (ici 0,02) et le rapport moyen des variances krigées et observées doit être proche de 1 (ici 1,007).

**4. Cartographie des valeurs krigées et de la variance d'estimation:** Le maillage régulier est défini par une

distance de 500 m. Les cartographies de biomasse obtenues selon les divers modèles testés (modèle structural, variogramme isotrope et variogramme anisotrope) sont très similaires. La carte krigée basée sur le variogramme isotrope fait apparaître (Figure 4) :

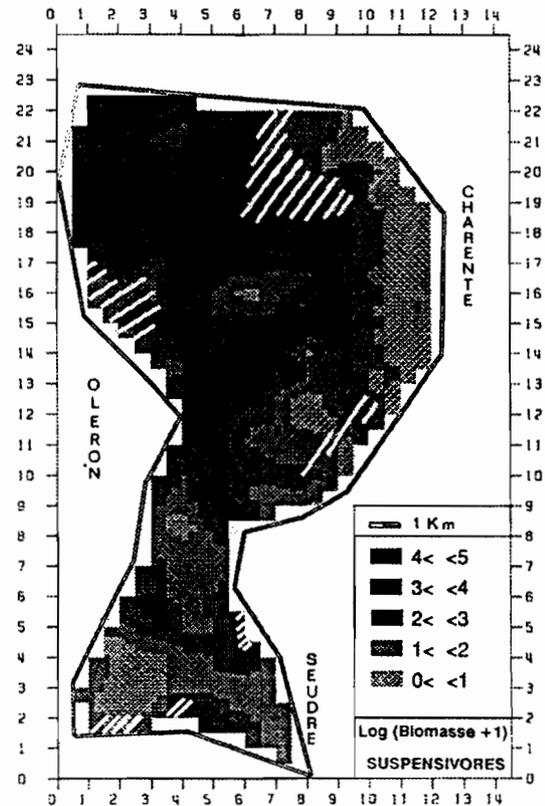


Figure 4: Cartographie de la valeur krigée et de la variance d'estimation à partir du variogramme isotrope. La variable retenue est le Log (biomasse+1) des espèces suspensivores. Les zones à forte variance d'estimation sont hachurées.  
 Figure 4: Plan of the kriged value and estimation variance based on the isotropic variogram. The variable chosen is the log (biomass + 1) of the suspension-feeding species. The areas with a high estimation variance are hatched.

- un aspect général très lissé des isoplèthes de biomasse vis-à-vis des valeurs observées (Figure 2). Gros & Hamon (1989) notent aussi cette caractéristique de l'interpolateur du krigeage lors de l'estimation de gisements de *Cerastoderma edule* en baie de St-Brieuc;
  - un fort gradient (Est-Ouest) de biomasse disposé perpendiculairement aux estrans de vases pures de la côte Est depuis Le Chapus jusqu'à Fouras,
  - plusieurs noyaux de biomasse associés à des gradients locaux très accentués. Chacun de ces noyaux de biomasse correspond à l'une des 4 principales espèces suspensivores précédemment citées ;
  - des minima de biomasse associés soit, à la présence de chenaux (Charente au Nord-Est, Seudre au Sud-Est, chenal du centre et pertuis du Sud-Ouest) soit, à des sédiments de vases pures (côte Est d'Oléron et Nord du bassin).
- Le report sur cette carte des valeurs les plus fortes de la variance d'estimation (valeur > 2) fait principalement ressortir le panache de la Charente au Nord-Est et quelques taches isolées dans le Sud du bassin liées aux effets de bordure.

**5. Estimation globale du stock et de sa variance.** Seule est présentée la comparaison des coefficients de variation (rapport moyenne variance) obtenus selon le protocole

stratifié et le calcul du krigeage. Dans le cas traité ici, la connaissance des paramètres du variogramme isotrope (portée, palier et pépite) et du maillage de la grille (500 m.) permet d'obtenir à l'aide d'abaques la variance d'extension de chaque point échantillonné à sa surface d'influence (Journel, 1977). De fait, le krigeage n'apporte pas un gain de précision vis-à-vis du plan stratifié (les coefficients de variation respectifs sont de l'ordre de 10% et 5%). Armstrong *et al.* (1989) obtiennent, en pareil cas, un résultat comparable.

## CONCLUSION

Bien que les résultats présentés soient préliminaires, la technique de krigeage et l'étude structurale qui lui est associée permettent de révéler l'influence du plan d'échantillonnage dans la description des structures spatiales des biomasses de suspensivores. En effet, à l'échelle d'observation adoptée (1 à 2 km), deux aspects ressortent : un fort effet de pépite (Figure 3) et une forte variance d'estimation liée à certains secteurs géographiques du bassin (Figure 4). Une meilleure estimation de l'effet de pépite passe par une modification de la planification de l'échantillonnage. La mise en place de grilles de stations régulièrement réparties et distantes de moins d'un kilomètre doit permettre de mieux estimer les phénomènes structuraux apparaissant à petite échelle. Ceci peut se faire, en particulier, dans le centre du bassin où la variabilité structurale est géographiquement très marquée (Figure 2).

De même, il est apparu au cours du traitement de krigeage des blocages dus à une relative incompatibilité entre la densité des stations et les contraintes imposées par la définition des voisinages glissants (8 observations). Le résultat principal en est une forte variance d'estimation dans les secteurs les moins prospectés. A cet égard Delhomme (1978) expose une procédure "d'optimisation du renforcement d'un réseau de mesures" très intéressante à exploiter dans l'optique d'une optimisation du plan d'échantillonnage basée sur la réduction de la variance d'estimation.

D'une façon complémentaire à ces deux aspects, la construction du plan stratifié a nécessité la reconnaissance de discontinuités structurales affectant la répartition des biomasses benthiques. Ces discontinuités sont corrélées à la bathymétrie, la granulométrie ou la présence de cultures conchylicoles. De fait, ce sont les 3 stratificateurs employés dans la définition des strates du plan d'échantillonnage stratifié (Sauriau, 1987). Cette connaissance *a priori* des phénomènes qui façonnent la structure spatiale des biomasses, peut être utilisée dans la procédure de krigeage, e.g. par la mise en place de failles. Ces failles, figurant préférentiellement les chenaux du bassin de Marennes-Oléron, rendraient compte de l'absence de corrélation entre deux observations séparées par une telle discontinuité spatiale.

Enfin, la finalité de la méthode géostatistique dans l'étude de la répartition géographique des stocks des peuplements

benthiques peut être abordée. Outre ses prédestinations purement descriptives (reconnaissance des structures) ou quantitatives (estimation non biaisée d'un gisement), les cartographies krigées des biomasses peuvent servir de banques de données informatiques aux modèles biologiques tels ceux mis en place dans le bassin de Marennes-Oléron (Bacher, 1989 a). De fait, les estimations de biomasse des suspensivores servent de variables forçantes aux modèles analytiques qui quantifient, à travers les termes du bilan énergétique des Mollusques, l'impact des stocks des suspensivores compétiteurs trophiques sur les performances de croissance des stocks d'huîtres *Crassostrea gigas* du bassin de Marennes-Oléron (Bacher, 1989 b).

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier J. F. Bourillet IFREMER-BREST qui nous a permis d'utiliser le logiciel BLUEPACK 3D ainsi que M. Armstrong et P. Petitgas de l'Ecole des Mines de Fontainebleau pour leurs critiques et conseils.

## BIBLIOGRAPHIES

- ARMSTRONG M., RENARD D. & BERTHOU P. 1989. - Applying geostatistics to the estimation of a population of bivalves. I.C.E.S./C.M. 1989/K:37 Sess U, 24 p.
- BACHER C., 1989. - a. Etude de la capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron : utilisation d'un modèle couplé de transport particulier et de croissance de l'huître *Crassostrea gigas*. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 149 p.
- BACHER C., 1989. - b. Etude de l'impact du stock d'huître et des Mollusques compétiteurs sur les performances de croissance de *Crassostrea gigas* à l'aide d'un modèle de croissance. Rapp. P. - V. Réun. Cons. int. Explor. Mer (sous presse).
- DELHOMME J.-P., 1978. - Applications de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau. Bulletin du B.R.G.M., 3, 4, 341-375.
- DESLOUS-PAOLI J.-M., 1985. - *Crepidula fornicata* L. (gastéropode) dans le bassin de Marennes-Oléron : structure, dynamique et production d'une population. Oceanologica Acta, 8, 4, 453-460.
- GROS P. & HAMON D., 1989. - Estimation de la biomasse des bivalves intertidaux (Moule, Coque) exploités en baie de Saint-Brieuc (Manche Ouest). Rapport IFREMER/DERO-EL/89-25, 137 p.
- JOURNEL A. G., 1977. - Géostatistique minière. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, Centre de Géostatistique, 1, 388 p.
- LEVINTON J. S., 1979. - Deposit-feeders, their resources, and the study of resource limitation. In: Ecological Processes in coastal and Marine Systems, Marine Science 10, Livingston R.J. (ed.), Plenum-Press, New York, London :117-141.
- MATHERON G., 1965. - Les variables régionalisées et leur estimation. Masson & Cie (ed.) Paris, 306 p.
- SANDERS H. L., 1958. - Benthic studies in Buzzards Bay. I: Animal-sediment relationships. Limnol. Oceanogr., 3 : 245-258.
- SAURIAU P.-G., 1987. - Les mollusques non cultivés du bassin de Marennes-Oléron : quantification et répartition géographique des stocks. Haliotis, 16, 527-541.
- SAURIAU P.-G., MOURET V. & RINCE J.-P., 1989. - Organisation trophique de la malacofaune benthique non cultivée du bassin de Marennes-Oléron. Oceanologica Acta, 12 :193-204.