

CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE DE LA REPARTITION DE LA MOSAIQUE AFRICAINE DU MANIOC

LECOUSTRE, R.^[1], FAUQUET, C.^[2] & FARGETTE, D.^[2]

[1] Laboratoire de Biomodélisation, CIRAD, BP 5035
34032 - MONTPELLIER Cédex, FRANCE

[2] Laboratoire de Phytovirologie ORSTOM, BP V51,
ABIDJAN, COTE D'IVOIRE

INTRODUCTION

Des méthodes statistiques modernes permettent la description et l'analyse structurale d'une variable spatiale mieux que par ses seules moyenne et variance (nature d'un sol, aire d'extension d'une maladie ou d'une attaque de ravageur). Ces techniques permettent en outre la cartographie en isovalues pour une variable donnée.

Ces méthodes développées récemment, au cours des années 60 [6, 7, 8 et 2], ont été mises au point par les géostatisticiens qui les emploient largement [10]. A l'heure actuelle, les pédologues de l'IRAT-CIRAD et de l'ORSTOM, les agroforestiers du CTFT-CIRAD, les virologues de plantes de l'ORSTOM avec les entomologistes et les phytopathologistes de l'IRHO-CIRAD les ont introduites avec profit dans le domaine des sciences agronomiques.

NOTION DE VARIABLE REGIONALISEE

Une variable est dite "régionalisée" lorsque les valeurs qu'elle prend dépendent de sa position dans l'espace [9]; de plus, il est courant d'admettre une dépendance existant entre deux sondages proches déterminant des corrélations entre les valeurs mesurées dans certaines zones. Ceci indique l'existence d'une structure à l'intérieur de la zone explorée.

Un exemple élémentaire [8] montre clairement ce que l'on entend par cette notion. Supposons que deux séries de mesures effectuées pour une variable donnée, à intervalles réguliers, le long d'une ligne sur le terrain, aient donné les séquences suivantes :

A : 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 5 - 4 - 3 - 2 - 1,

B : 1 - 4 - 3 - 6 - 1 - 5 - 3 - 4 - 2 - 5 - 2.

La séquence A possède une structure symétrique très nette et dans le cas de B, si la structure existe, elle est très faible et montre une forte irrégularité; cependant ces 2 séries de 11 mesures admettent la même moyenne et la même variance. Ceci montre qu'on ne peut donc pas appréhender la distribution d'une variable spatiale uniquement à l'aide de ces notions classiques.

Il est donc nécessaire de recourir à une méthode qui analyse à la fois la localisation, la continuité, l'anisotropie et le caractère transitif d'une telle variable.

L'outil d'analyse est le demi-variogramme défini pour toute distance h comme étant la moyenne des carrés des écarts des valeurs prises par la variable en tous points distants de h l'un de l'autre.

$$G(h) = 1/2E[F(x+h) - F(x)]^2$$

On montre que le demi-variogramme et la covariance se correspondent par la relation :

$$G(h) = C(0) - C(h) ; \text{ où } C(0) = V.$$

Aux grandes distances, les corrélations entre points ne se font plus sentir et $G(h)$ tend vers la valeur maximale $C(0)$. La valeur, notée a , de h pour laquelle ce maximum est atteint s'appelle la portée du demi-variogramme. Le comportement de la fonction $G(h)$ pour $h < a$, caractérise le degré de régularité de la variable régionalisée.

En général, pour l'exploitation simple des données, on se contente du demi-variogramme expérimental construit en tout h par la moyenne :

$$G(h) = (1/2 N_h) [F(x_i + h) - F(x_i)]^2,$$

où N_h = nombre de couples $(x_i, x_i + h)$.

On peut observer différents types de demi-variogrammes qu'il est possible d'ajuster à certains modèles classiques.

[Fig. 1,2,3,4]

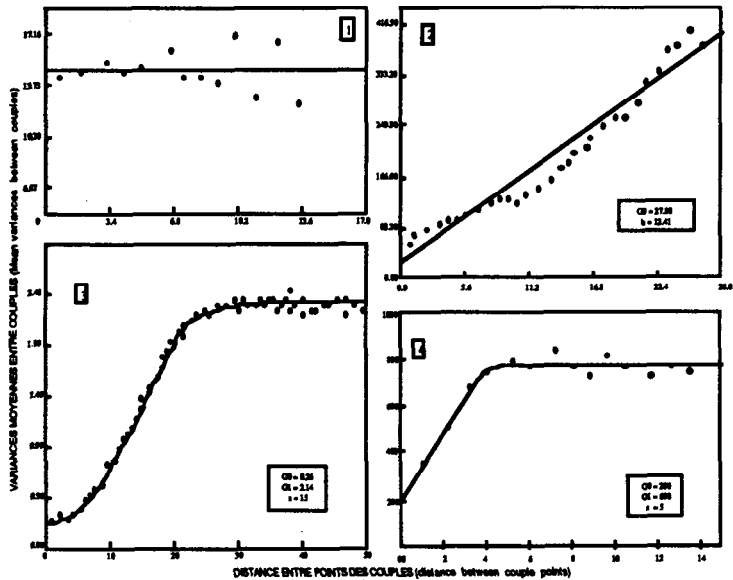


Figure 1 : Demi-variogramme caractéristique de l'effet de pépites. Maladie à *Phytophthora*. ASSINIE (taux cumulé de pertes).

Figure 2 : Demi-variogramme caractéristique du modèle linéaire. Mosaique Africaine du Manioc. ORSTOM, Adiopodoumé.

Figure 3 : Demi-variogramme caractéristique du modèle Gaussien (simulation).

Figure 4 : Demi-variogramme caractéristique du modèle sphérique. Epaisseur du limon de couverture. Hole Farm. HOLFOLK.

Si les corrélations sont nulles, le demi-variogramme prend immédiatement sa valeur maximale (phénomène purement aléatoire), ce qui se traduit par un demi-variogramme plat (Fig. 1) : c'est l'effet de pépites pur.

En général, cet effet de pépites, qui dépend d'une microstructure, est toujours superposé aux autres structures mais il reste possible d'ajuster le demi-variogramme observé (GO= effet de pépites) aux modèles théoriques suivants :

- le modèle linéaire qui est un modèle sans palier (Fig. 2)

$$G(h) = GO + bh ;$$

- le modèle gaussien dont la portée pratique est $a' = \text{sqr}(3a)$ (Fig.3)

$$G(h) = GO + G1 [1 - \exp(-h^2/a^2)] ;$$

- le modèle sphérique dont la portée vaut a (Fig. 4)

$$G(h) = GO + G1 [3/2 (h/a) - 1/2 (ha/a)^3] \text{ pour } h < a,$$

$$G(h) = GO + G1 [3/2 (h/a) - 1/2 (ha/a)^3] \text{ pour } h > a ;$$

- le modèle exponentiel dont la portée pratique est $a' = 3a$ (Fig. 5)

$$G(h) = GO + G1[1 - \exp(-h/a)].$$

Des études de simulation ont montré qu'on peut suivre l'évolution d'une attaque de ravageur ou d'une maladie en observant les demi-variogrammes correspondant aux dates de contrôle simulées.

(Fig. 5,6)

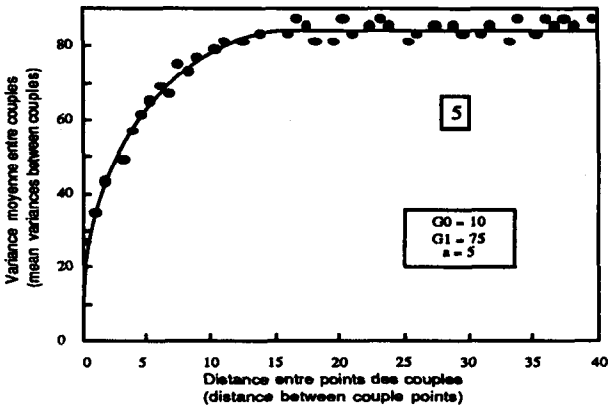


Figure 5 : Demi-variogramme caractéristique du modèle exponentiel (simulation).

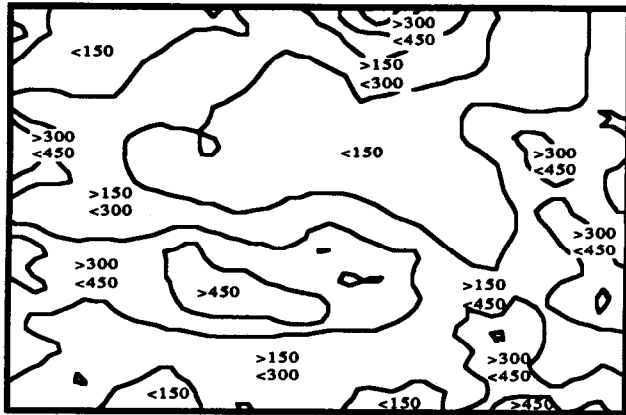


Figure 6 : Cartographie en isovaleurs d'une variable de densité.

LE KRIGEAGE

Le krigeage est une méthode d'estimation locale des valeurs d'une variable, en tous points d'une zone géographique, basée sur la théorie des variables régionalisées, qui tient compte du demi-variogramme. Elle a été mise au point principalement par Matheron [6, 7 et 8] et Krige [2] pour l'estimation des réserves en minerai dans l'exploitation minière, pour laquelle elle est de plus en plus utilisée.

Cette méthode est dite sans biais car elle restitue, contrairement à d'autres plus simples, le phénomène en moyenne et variance, redonne leur valeur mesurée aux points sondés et assure une variance d'estimation minimale.

Il est inutile de se servir de points de sondage situés à une distance supérieure à la portée du demi-variogramme pour estimer la valeur $F(x_0)$ en un point.

Cette méthode peut ainsi restituer des cartes d'isovaleurs, ou courbes de niveau (Fig. 6); d'autres méthodes graphiques permettent d'obtenir des tracés par parcelle élémentaire (Fig. 7) quelle que soit la forme ou la disposition de ces parcelles ou par plante. La variable $F(x)$ doit obligatoirement avoir un caractère de variable de densité (poids, épaisseur, taux d'attaque, densité de population, etc...). Cette technique est très utile pour délimiter les zones d'attaques d'un ravageur et étudier les caractéristiques de la propagation d'une maladie de plantes (Fig. 7).

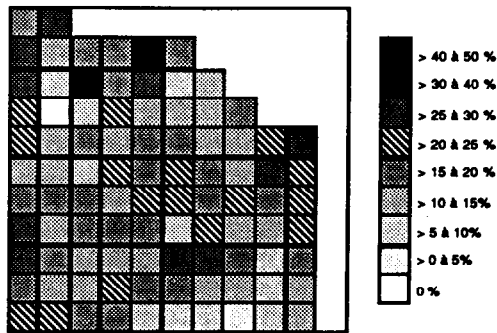


Figure 7 : Schéma de l'extension de la maladie à *Phytophthora* sur cocotiers à ASSINIE. Cartographie des taux de pertes cumulées par sous-parcelle (3 ans après les premiers cas).

APPLICATION A LA MOSAÏQUE AFRICAINE DU MANIOC

Dans ce cas particulier, la contamination est essentiellement de caractère primaire, prenant son origine en dehors de la parcelle en suivant la direction du vent dominant et avec un effet de bordure comme il a été trouvé dans des expériences au champ. Le demi-variogramme expérimental qui caractérise ce type de contamination est le modèle linéaire, mis en évidence pour la première fois sur la MAM puis sur la maladie de la pourriture du coeur du palmier à huile au Pérou et en Equateur.

Les études comparant les valeurs calculées obtenues à partir d'un échantillon donné et pour une distance h max à partir de laquelle les valeurs x_i sont considérées comme n'ayant plus d'influence sur le calcul de la valeur x_0 montrent que dans le cas de la MAM, un échantillon de 7% (7 blocs de 25 ou 100 plants dans un essai de 50 à 100 blocs) à une distance h max voisin de 5 blocs (25 à 50 mètres) donne les meilleurs estimateurs.

La figure 8 visualise les résultats obtenus en cartographie automatique sur un champ de manioc de 1 ha, 6 mois après plantation, avec un échantillon de 7%. Le coefficient de corrélation entre les valeurs observées et calculées vaut 0.81. Cependant, la connaissance d'un effet de bordure, caractéristique à la répartition de la MAM, implique qu'il faille choisir un échantillonnage structuré plutôt qu'un échantillonnage aléatoire.

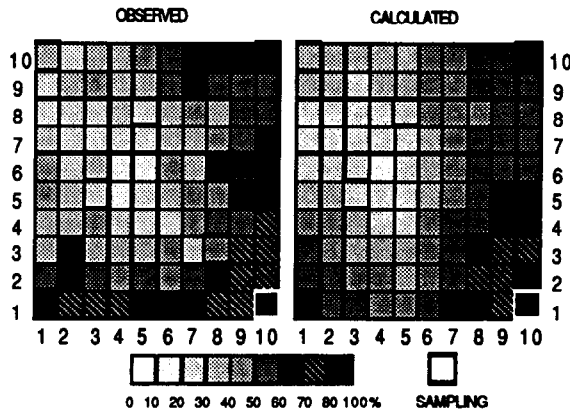


Figure 8 : Comparaison entre l'extension des cas de Mosaïque Africaine du Manioc observés sur une parcelle d'un hectare et de celle obtenue par krigeage à partir d'un échantillon de 7 % (6 mois après plantation).

L'étude de l'évolution dans le temps des demi-variogrammes montre qu'on passe progressivement au cours de l'évolution de la contamination d'un pur effet de pépites à un modèle linéaire sans palier.

CONCLUSION

Les entomologistes, les phytopathologistes, les phytovirologues ont actuellement à leur disposition un outil mathématique permettant l'analyse structurale des variables spatiales sur lesquelles ils travaillent.

Ces méthodes permettent en outre d'établir des cartographies d'isovaleurs pour une variable donnée à partir de sondages, c'est le krigeage.

Nous avons utilisé avec profit l'analyse des demi-variogrammes pour suivre l'épidémiologie de la Mosaïque Africaine du Manioc en Côte d'Ivoire. Les techniques du krigeage autorisent, en échantillonnant 7% des sous-parcelles, à alléger de près de 14 fois les contrôles au champ destinés à cartographier la répartition des cas de MAM sur les parcelles expérimentales de l'ORSTOM en Côte d'Ivoire, tout en restituant correctement les informations structurales nécessaires à l'étude de la répartition de la maladie virale MAM dans les parcelles expérimentales.

Les lecteurs intéressés par ces techniques de calcul et d'analyse se reporteront avec bénéfice aux ouvrages de référence cités dans la bibliographie.

BIBLIOGRAPHIE

- BURGESS, T.M., WEBSTER, R. & Mc BRATNEY, A.M. (1981). *Journal of Soil Sciences*, 505-524.
- BURGESS, T.M., WEBSTER, R. & Mc BRATNEY, A.M. (1982). *Journal of Soil Sciences*, 643-659.
- KRIGE, D.G. (1966). *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy* 66, 13-38.
- LECOUSTRE, R., FAUQUET, C., FARGETTE, D. & THOUVENEL, J.C. (1986). Communication au *Congrès d'Epidémiologie de Fort Lauderdale, Floride, U.S.A.* (6-8 août 1986).
- LECOUSTRE, R. & DE REFFYE, P. (1966). *Oléagineux* 41.
- MARBEAU, J.P. (1976). *Thèse de doctorat de Ecole des Mines de Paris.*
- MATHERON, G. (1963). *Economics geology* 58, 1246-1266.
- MATHERON, G. (1965). *Cahiers du Centre de Morphologie. Ecole des Mines de Paris* 5.
- MATHERON, G. (1965). *Les variables régionalisées et leur estimation.* Masson, Paris.
- NARBONI, P. (1979). *Note statistique* 18, CTFT, NOGENT-s.-MARNE.
- TRANGMAR, B.B., YOST, R.S. & UEHARA, G. (1985). *Advances in Agronomy* 38, 45-95.