
UTILISATION DES ANALYSES RADIALES POUR QUANTIFIER L'ÉCHELLE LOCALE DU PAYSAGE

APPLICATION A L'ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE SPATIO-TEMPORELLE DU CAMPAGNOL
TERRESTRE

K. Berthier : *Centre de Biologie et de gestion des populations, Campus International de Baillarguet, 34980
Montferrier/Lez*
berthier@ensam.inra.fr

J.C. Foltête : *Laboratoire THEMA – UMR 6049 CNRS, 32 rue Mégevand, 25030 Besançon Cedex*
jean-christophe.foltete@univ-fcomte.fr

B. Prieur : *Centre de Biologie et de gestion des populations, Campus International de Baillarguet, 34980
Montferrier/Lez*

J.F. Cosson : *Centre de Biologie et de gestion des populations, Campus International de Baillarguet, 34980
Montferrier/Lez*

RÉSUMÉ. *En écologie du paysage, l'échelle spatiale est un élément clé pour comprendre l'influence de la variabilité spatiale de l'environnement sur les processus écologiques. Pour identifier et évaluer ces interactions les écologistes ont adapté une grande variété d'analyses spatiales issues d'autres disciplines. Dans le cadre de cette étude nous avons appliqué une analyse de voisinage, utilisée en pédologie, pour étudier un paysage en fonction de l'échelle spatiale. Cette méthode permet d'identifier l'échelle locale des motifs spatiaux et leur degré d'hétérogénéité, par l'analyse de courbes radiales.*

ABSTRACT. *The spatial pattern of ecological process is a key issue in landscape ecology. With this aim in view, ecologists have adopted different spatial analysis derived from other disciplines. Here, we have used a neighbourhood analysis, developed in pedology, to describe a landscape with respect to the spatial scale. This method is based on the analysis of radial curves, and allows identifying the local scale of landscape units and their degree of heterogeneity.*

MOTS-CLÉS: paysage, hétérogénéité, échelle spatiale, voisinage, analyses radiales, campagnol, pullulations

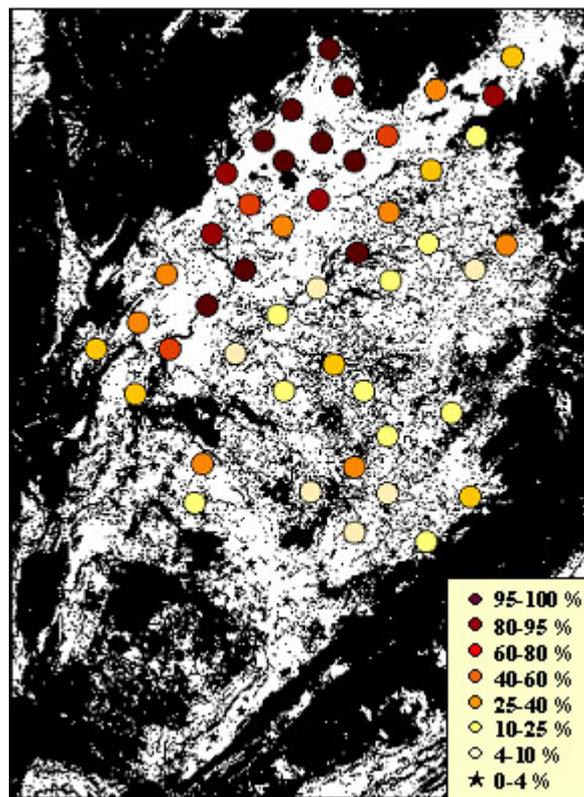
KEY WORDS: landscape, heterogeneity, scale, neighbourhood, radial analysis, vole, high densities

TITLE: *Using radial analysis to quantify the local scale of landscape - An application to the study of the spatio-temporal dynamics of the water vole*

1 Contexte de recherche

Le campagnol terrestre est un rongeur prairial qui présente une démographie cyclique. Il pullule dans les zones de moyennes montagnes où les surfaces en herbe sont dominantes. Dans ces régions, les pullulations se propagent dans l'espace sous forme d'une vague (Giraudoux *et al.*, 1997). Les mécanismes sous jacents aux explosions démographiques sont peu connus, notamment les rapports entre variabilité spatiale des densités, phase du cycle et contexte paysager. La zone d'étude, d'environ 300 km², centrée sur le canton de Nozeroy (Jura, France) est un assemblage de prairies ouvertes et de zones bocagères. Un suivi spatio-temporel des densités de campagnols, basé sur un maillage régulier, a été réalisé en 2002 sur l'ensemble de cette zone (*figure 1*). Ce suivi laisse supposer que le degré d'ouverture des prairies influence les caractéristiques démographiques des populations et la diffusion spatiale des pullulations. La vérification de cette hypothèse s'effectuera par comparaison des dynamiques démographiques et spatiales des populations de bocages et de prairies ouvertes. Dans cette optique, il est nécessaire de connaître l'échelle locale des zones de prairie afin de quantifier le degré d'ouverture du paysage et de définir un échantillonnage stratifié. Celui-ci permettra un suivi fin de l'évolution temporelle et spatiale des densités de campagnols dans les contextes paysagers d'intérêt.

Figure 1- Mesures des densités de campagnols sur l'ensemble de la zone d'étude (en %)



Les analyses spatiales sont appliquées sur une image binaire, opposant surfaces herbacées (habitat exclusif du campagnol terrestre) et non-herbacées, dérivée d'une image *satellitale Indian remote sensing* Panchromatique d'une résolution spatiale de 7 mètres.

2 Choix d'une méthode d'analyse

L'hétérogénéité spatiale du paysage a des effets importants sur la dynamique des populations animales (Duhamel *et al.*, 2002 ; Kie *et al.*, 2002), mais ces interactions sont complexes et variables selon l'échelle spatiale considérée (Turner, 1989 ; Wiens, 1989). Depuis une vingtaine d'années, les écologues ont recours à des méthodes quantitatives pour analyser et modéliser les variations spatiales des données écologiques (Liebhold et Gurevitch, 2002). Les analyses fractales, spectrales et par ondelettes (Bradshaw et Spies, 1992 ; With *et al.*, 1997 ; Keitt, 2000 ; Harper *et al.*, 2001) sont par exemple utilisées pour explorer des structures à travers plusieurs échelles. Dans le cadre de la recherche d'un niveau d'homogénéité local, plusieurs familles de méthodes, reconnues, peuvent être comparées :

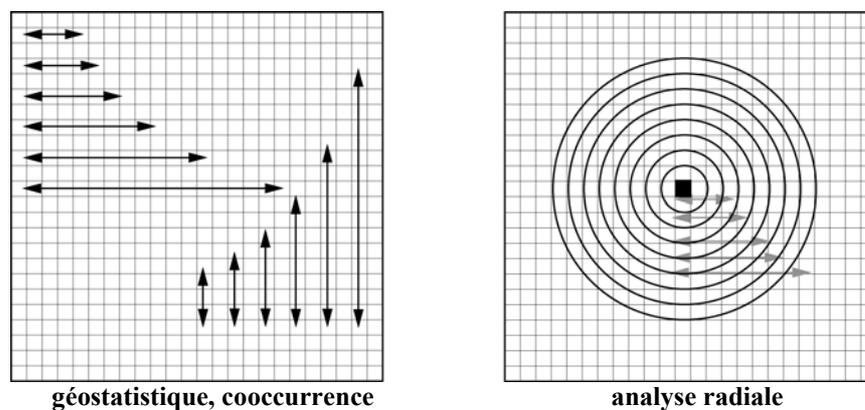
- géostatistique : la variographie permet de déterminer le niveau scalaire d'une structure spatiale (Matheron, 1975 ; Cressie, 1993). Sur un support image, un variogramme peut être défini localement (à partir d'un pixel) pour caractériser un motif spatial dans un objectif de classification (Carr, 1999).
- statistiques spatiales : les indices d'autocorrélation de Moran et Geary ainsi que les tests de Mantel, calculés en fonction d'un ordre de contiguïté, permettent de dresser des corrélogrammes.
- analyse de texture : les indices de cooccurrences (Haralick *et al.*, 1973) définis pour une distance de cooccurrence croissante permettent, comme la variographie, d'étudier l'échelle de répétition d'un motif spatial (Connors et Harlow, 1980).

Ces familles de méthodes, issues de contextes différents, aboutissent à des résultats similaires. Cependant, elles ne sont pas complètement adaptées à l'objectif présent pour deux raisons principales :

- l'utilisation statique du voisinage : le degré d'autocorrélation est mesuré en fonction du niveau scalaire (*figure 2*), mais sans tenir compte de la localisation du point central de voisinage. Si un objet est « perturbateur » d'une structure, sa position par rapport au centre n'intervient pas dans le calcul.
- l'augmentation du niveau scalaire correspond à un écartement spatial plus important des couples de points (*figure 2*), sans tenir compte des « contenus » paysagers, c'est à dire des espaces qui se trouvent entre ces points.

L'analyse radiale, basée sur la croissance progressive d'un voisinage à partir d'un point, est surtout utilisée en pédologie, notamment par les méthodes VOISIN (Girard, 1983 ; Girard *et al.*, 1999) et CLAPAS (Robbez-Masson, 1994 ; Robbez-Masson *et al.*, 1996). Ce principe semble mieux convenir au problème présent : d'une part, l'analyse est réalisée en fonction de la localisation précise d'un point central ; d'autre part, l'échelle spatiale est ici synonyme de surface de voisinage, ce qui correspond à l'idée de plus ou moins grande ampleur de paysage (*figure 2*). En contrepartie, la notion de direction n'est plus prise en compte comme pour les méthodes précédentes.

Figure 2 – Différentes applications de la notion d'échelle spatiale



3 Principe et application

A partir de chaque pixel de l'image sont définis n voisinages circulaires de rayon croissant k . Pour chacun de ces voisinages, on calcule un descripteur paysager P_k . Celui-ci peut être par exemple :

- la moyenne des niveaux de gris : pour une image dont les valeurs sont quantitatives.

$$m_k = \frac{1}{s_k} \sum_{i=1}^{s_k} x_i$$

avec s_k pixels contenus dans le voisinage de taille k .

- l'histogramme des fréquences ou vecteur de composition \vec{C}_k donnant la répartition fréquentielle des différentes classes tel que :

$$\vec{C}_k = \prod_{x=1}^x \vec{C}_1 + \prod_{x=2}^x \vec{C}_2$$

avec \vec{c}_1 et \vec{c}_2 les vecteurs élémentaires des classes 1 et 2

- la matrice des cooccurrences (Haralick *et al.*, 1973).

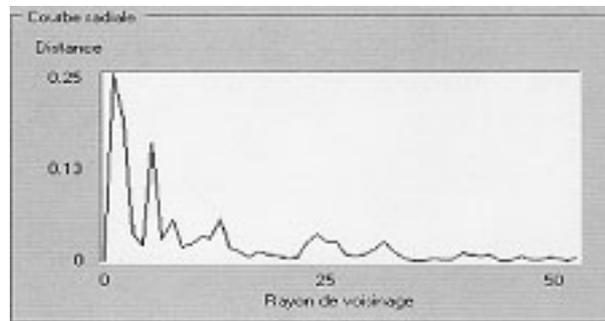
Chaque taille de voisinage k se caractérise ensuite par un « degré de rupture paysagère » R_k , fondé sur la distance mathématique entre le motif de niveau k et le motif du niveau précédent $k-1$ (en utilisant une métrique d compatible avec P).

$$R_k = d(P_k, P_{k-1})$$

La méthode VOISIN est un cas particulier de ce principe utilisant un histogramme de fréquence des classes et la distance de Manhattan comme métrique de comparaison. D'autres descripteurs sont possibles, notamment des statistiques de second ordre comme les cooccurrences.

L'évolution des valeurs de R est observée graphiquement, en fonction de la taille des fenêtres, à travers la courbe radiale. Celle-ci représente l'hétérogénéité autour du pixel étudié (*figure 3*). Plus la distance entre deux descripteurs est faible, plus ces voisinages contiennent des paysages semblables. Par conséquent, une courbe radiale de profil plat représentera l'homogénéité parfaite.

Figure 3: Courbe radiale pour un pixel situé en zone bocagère



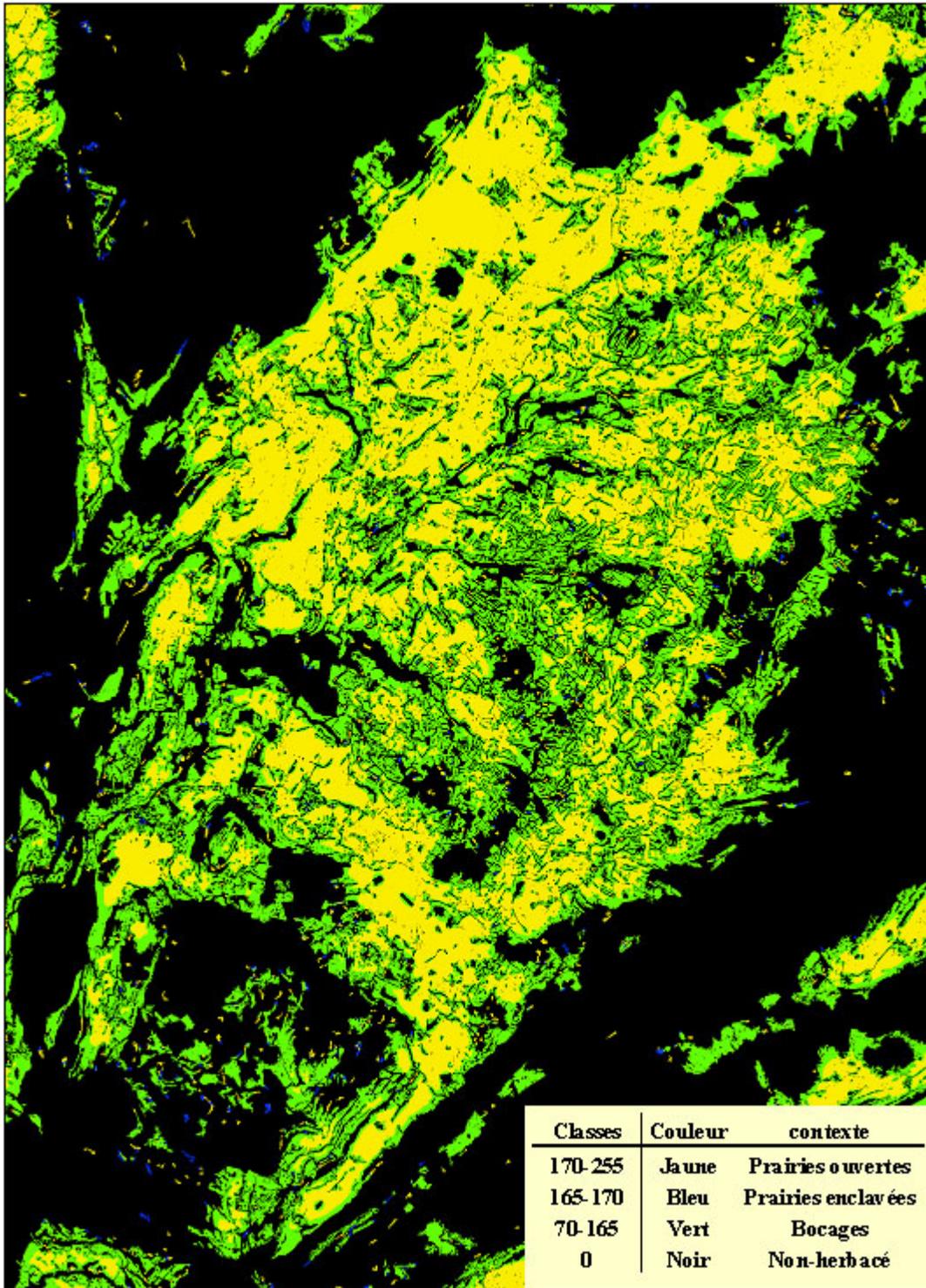
Les courbes radiales peuvent être observées de façon interactive, en explorant sur l'écran les principales configurations du paysage étudié. Cette phase précède un calcul automatique, réalisé sur tous les pixels, par lequel chaque courbe doit être simplifiée en une valeur unique. Une question demeure cependant : quelle mesure effectuer, pour quantifier l'échelle locale et distinguer les configurations de prairies ? Nous avons testé deux possibilités :

- calcul de l'hétérogénéité paysagère : nous mesurons la différence entre chaque courbe radiale et le profil plat, ce qui revient à faire simplement la somme des valeurs de distance. En principe, une forte valeur résultante indique la présence de nombreuses ruptures paysagères à partir du pixel central, à l'inverse plus cette valeur est faible, plus l'environnement est homogène. Ce calcul est simple à mettre en œuvre mais il ne donne pas de véritable indication sur l'échelle locale du paysage.
- calcul de la portée spatiale d'hétérogénéité : nous cherchons le rayon de voisinage à partir duquel une certaine rupture se produit. Cette rupture est représentée par une valeur précise qu'il faut considérer comme un seuil significatif. Malgré l'aspect arbitraire de ce choix, le résultat correspond directement à une certaine échelle spatiale.

4 Résultats

Le support de notre étude est une carte binaire opposant les surfaces en herbe (habitat du campagnol) à toutes autres formes d'occupation du sol. Les analyses radiales concernent uniquement les pixels de la classe herbacée. Elles ont été appliquées en utilisant des histogrammes de fréquence des classes comme descripteur de voisinage et la distance de Manhattan comme métrique de comparaison. Le résultat présenté ici correspond uniquement au calcul de l'hétérogénéité paysagère.

Sur l'image résultat, l'hétérogénéité des surfaces herbacées est traduite en niveau de gris (la valeur 0 représente la classe non herbacée). Cette gamme de gris a été découpée en trois classes associées à des couleurs pour une meilleure lisibilité (*figure 4*).

Figure 4 - Image de l'hétérogénéité des surfaces herbacées

5 Conclusion

Cette étude constitue un exemple simple d'application des analyses radiales sur une image binaire. Cette méthode est utilisable dans des approches paysagères plus complexes (image satellitaire multi-spectrale, image classée).

L'application d'une telle méthode est d'abord interactive, par exploration du comportement des courbes radiales en fonction des contextes paysagers. On peut ainsi déterminer la pertinence du type de descripteurs choisis (histogramme de fréquence, cooccurrence...) en fonction des variables d'intérêts et du résultat escompté.

Ce type de traitement s'avère très utile pour l'étude des interactions entre la structure d'un paysage et les caractéristiques écologiques d'une espèce. En amont tout d'abord, en fournissant une description non subjective et une segmentation du paysage en différentes unités structurales selon les variables retenues. Cette définition du paysage permet de stratifier l'échantillonnage de données biologiques (*i.e.* démographique, génétique...) en fonction des hypothèses initiales.

Ensuite, pour comprendre les relations entre un patron paysager et un processus écologique il est nécessaire, à partir d'expérimentations conduites sur des zones test, de pouvoir extrapoler les résultats sur de grandes surfaces. Dans ce but, le type de carte obtenue, décrivant des motifs paysagers (*i.e.* cartographie des types d'habitats), peut être utilisé pour simuler les patrons d'autres phénomènes écologiques. Par exemple, des déplacements d'individus ou la distribution spatiale d'une espèce peuvent être évalués par une approche basée sur les modèles paysagers neutres (Gardner *et al.*, 1987). Dans le cas d'*Arvicola terrestris*, cette carte sera utilisée pour étudier la dynamique spatio-temporelle des populations. L'information sur la connectivité des habitats servira, notamment, pour simuler la diffusion des pullulations.

Remerciements

Les travaux présentés ici ont été soutenus par le Conseil Régional de Franche-Comté (Plan état-région « *Plan d'action campagnols 2000-2006* ») et le Ministère de l'Environnement (Programme « *Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des pesticides* »). Nous remercions Patrick Giraudoux et Pierre Delattre pour leur soutien et leurs conseils à différents stades du projet.

BIBLIOGRAPHIE

- Bradshaw G.A., Spies T.A. (1992), Characterizing canopy gap structure in forest using wavelet analysis, *Journal of ecology*, Vol. 80, p. 205-215.
- Carr J. R. (1999), Classification of digital image texture using variograms, in: *Atkinson P. M., Tate N. J. Eds., Advances in Remote Sensing and GIS Analysis*, Wiley & sons, p. 135-146.
- Connors R. W., Harlow C. A. (1980), A theoretical comparison of texture algorithms, *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 2, p. 204-222.
- Cressie N. A. C. (1993), *Statistics for spatial data*, Wiley & Sons, Bnew York.
- Duhamel R., Quéré J.P., Delattre P., Giraudoux P. (2000), Landscape effects on the population dynamics of the fossorial form of the water vole (*Arvicola terrestris sherman*), *Landscape Ecology*, Vol. 15, p. 89-98.
- Gardner R.H., Milne B.T., O'Neill R.V., Turner M.G. (1987), Neutral models for the analysis of broad-scale landscape patterns, *Landscape Ecology*, Vol. 1, p. 19-28.
- Girard M.C. (1983), Recherche d'une modélisation en vue d'une représentation spatiale de la couverture pédologique. Application à une région des plateaux jurassiques de Bourgogne, *Sols*, 12, Grignon. 295 p.
- Girard M. C., Girard C. (1999), *Traitement des données de télédétection*, Dunod, Paris.
- Giraudoux P., Delattre P., Habert M., Quéré J.P., Deblay S., Defaut R., Duhamel R., Moissenet M.F., Salvi D., Truchetet D. (1997), Population dynamics of fossorial water vole (*Arvicola terrestris sherman*): a land use and landscape perspective, *Agriculture Ecosystems & environment*, Vol. 66, p. 46-60.
- Haralick R., Shanmugan K., Dinstein I. (1973), Textural features for image classification, *IEEE Trans. on SMC*, vol. 3, p. 610-621.
- Harper K.A., MacDonald S.E. (2001), Structure and composition of riparian boreal forest: new methods for analysing edge influence, *Ecology*, Vol. 82, n°3, p.649-659.
- Keitt T.H. (2000), Spectral representation of neutral landscape, *Landscape Ecology*, Vol. 15, p. 479-493.
- Kie J.G., Bowyer R.T., Nicholson M.C., Boroski B.B., Loft E.R. (2002), Landscape heterogeneity at differing scales: Effects on spatial distribution of Mule Deer, *Ecology*, Vol. 83, n°2, p. 530-544.
- Liebhold A.M., Gurevitch J. (2002), Integrating the statistical analysis of spatial data in ecology, *Ecography*, Vol. 25, p. 553-557.
- Matheron G. (1975), *Random sets and integral geometry*. John Wiley and Sons, New York-London-Sydney.

- Robbez-Masson J.M. (1994), Reconnaissance et délimitation de motifs d'organisation spatiale : application à la cartographie des pédopaysages, thèse de doctorat, ENSA.M, Montpellier, 161 P.
- Robbez-Masson J.M., Borne F., Girard M.C. (1996), Description et Segmentation de Motifs d'Organisation Spatiale. Application à l'obtention d'esquisses paysagères, Paris, INRA Edition les Colloques n°78, p. 65-79.
- Turner M.G. (1989), Landscape Ecology: The Effect of Pattern on Process, *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 20, p.171-197.
- Wiens J.A. (1989), Spatial scaling in ecology, *Functional Ecology*, Vol. 3, p.385-397.
- With K.A., Gardner R.H., Turner M.G. (1997), Landscape connectivity and population distribution in heterogeneous environments, *Oikos*, Vol. 78, p. 151-169.