Télédétection, 2003, vol. 3, n° 2-3-4, p. 337–348
Droit de photocopie soumis à l'autorisation

© 2003 CONTEMPORARY PUBLISHING INTERNATIONAL
Publié sous l'enseigne *Éditions scientifiques GB*
Imprimé en France

SEGMENTATION TEXTURALE DES IMAGES URBAINES PAR LE BIAIS DE L'ANALYSE VARIOGRAPHIQUE

ASSIA KOURGLI*,a et AICHOUCHE BELHADJ-AISSAb.

Laboratoire de traitement d'images
Faculté d'électronique et d'informatique
Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène
Boîte Postale 32, El Alia, Bab-Ezzouar
16111 Alger, Algérie
Téléphone : 213 21 24 79 12, poste 806 ; télécopieur : 213 21 24 71 87
Courriel (a,b) : a_kourgli@lycos.com ; h.belhadj@lycos.com

(soumis le 20 février 2002 ; révisé le 21 mai 2002 ; accepté le 1er septembre 2002)

Dans cet article, on présente les résultats obtenus par l'exploitation de l'outil variographique pour la description et la discrimination de textures. L'analyse texturale a pour but principal l'extraction de paramètres texturaux qui décrivent la répartition des variations d'intensité dans l'image. Nous proposons une segmentation texturale basée sur les propriétés du variogramme. En particulier, nous montrons que le variogramme communément utilisé en géostatistique peut être exploité pour identifier différentes structures. L'aspect variographique de la géostatistique permet de mesurer cette dépendance entre deux points en fonction de la distance les séparant suivant une orientation particulière. Ainsi, cette dépendance change suivant que la distance augmente ou diminue : les structures répétitives sont alors décrites par des effets de trous dits emboîtements. Les structures d'emboîtement présentes dans un variogramme définissent alors la distance pour laquelle les primitives de texture pourraient être considérés périodiques. Nous avons donc utilisé cette information pour identifier la taille et les directions principales des structures de différentes textures de Brodatz et, ainsi, valider cette approche. Dans un second temps, nous l'avons intégrée dans trois procédures de segmentation, basée sur la comparaison des caractéristiques des variogrammes obtenus pour différentes directions des constructions urbaines et des sols nus pour constituer quatre classes. Des régions urbaines d'Alger (photographies aériennes) ont été utilisées pour l'évaluation des procédures aussi bien pour la segmentation que pour la caractérisation des images urbaines basée sur l'aspect textural de ces dernières. Les résultats obtenus montrent l'intérêt de l'utilisation des mesures variographiques qui permettent de révéler et d'identifier les différents thèmes d'une image urbaine.

Mots-clefs : variogramme; texture ; structure ; emboîtement ; portée ; segmentation.

TEXTURAL SEGMENTATION OF URBAN IMAGES WITH VARIOGRAPHIC ANALYSIS

This paper reports investigations aimed at developing a variographic tool which visually describes or discriminates perceivable qualities of textures. In particular, it will be shown that the variogram measure commonly used in geostatistic can be used to identify different structures. In texture analysis the first and most important task is to extract texture features which most completely embody information about the spatial distribution of intensity variations in an image. We present, here, an approach to texture segmentation using variography. Semi-variograms are essentially graphs measuring the difference between grade values relative to the distance separating the grade sample locations in a particular orientation. This variance therefore changes as the separation distance increases where repetitive structures are described as hole-effects. Since the nesting structure on the semi-variogram defines the separation distance up to which the primitives can be considered repetitive, it can also be used as a tool for identifying the principal directions and size of texture structures. In all likelihood, this will be the distance that exhibits a hole-effect. Using the textural informations provided by the variogram, we performed segmentation schemes based on the comparison of variogram features in the four main directions of land cover and built-up environment to constitute four classes. Urban regions of Alger (aerial photographs) have been used for evaluating the performance of the segmentation scheme proposed in the characterisation and discrimination of the texture aspect of urban images. The results obtained demonstrate the potential usefulness of the variogram measure. Its success is tied directly to the fidelity with which it captures the underlying structure of urban images.

Keywords : texture ; variogram ; built-up environment ; land cover ; segmentation.

1. INTRODUCTION

La texture représente le premier niveau des propriétés spatiales qui peuvent être extraites d'une image numérique. Elle est liée aux variations d'intensité locales d'une image et peut être utilisée comme une donnée additionnelle dans un processus de classification d'images. De

* Correspondant principal

nombreuses techniques d'analyse de texture existent (Reed, 1993 ; Marceau *et al*., 1990). Elles se basent soit sur le calcul de statistiques inhérentes à la texture et elles sont alors dites statistiques (Haralick ; 1986) ou soit sur la description des primitives de la texture et leur disposition, et elles sont alors dites structurales (Kourgli et Belhadj, 1997). Nous avons montré (Kourgli et Belhadj, 2000) que la mesure variographique communément exploitée en géostatistique (Cressie, 1993) peut être utilisée pour caractériser la forme et la taille des primitives de la texture. Nous proposons d'appliquer le traitement variographique pour discriminer des zones urbaines différemment texturées en se basant sur les propriétés de leurs variogrammes.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1. La géostatistique

La géostatistique est l'étude des corrélations spatiales. Elle représente un terrain de validation aux sciences environnementales et fournit une mesure quantitative des liens liant des points voisins. On parle alors de dépendance. La géostatistique a été utilisée dans divers domaines, notamment dans l'évaluation des statistiques agricoles et des prospections minières. Un grand intérêt a été accordé à l'application de la géostatistique à la recherche minière et aux études géologiques.

L'aspect variographique de la géostatistique permet de mesurer la dépendance entre deux points en fonction de la distance les séparant (Thomas, 1997). Les géostatisticiens ont développé l'usage du variogramme comme outil de base pour mesurer la zone d'influence d'une variable régionalisée Z(x), localisée en x, sur son voisinage, révéler des structures spatiales emboîtées, indiquer des anisotropies ou détecter des discontinuités spatiales. C'est le variogramme qui est chargé de résumer, de façon adéquate, toute l'information structurale sur le phénomène considéré, puis d'intégrer cette information dans les divers processus d'évaluation. Pour certaines applications, telles que le traitement d'images et la télédétection, l'utilisation du variogramme s'adapte à l'analyse et la détection de structures contenues dans ces dernières (Srivastava et Parker, 1998).

2.2. Le variogramme

Considérons deux variables, Z(x) et Z(x+h), implantées en deux points distants d'un vecteur h. On caractérise la variabilité entre ces deux mesures par la fonction variogramme $2\gamma(x,h)$ définie comme l'espérance de la variable aléatoire :
$[Z(x) - Z(x+h)]^2$ donnée par :

$$2\gamma(x,h) = E\left\{ [Z(x) - Z(x+h)]^2 \right\} \qquad (1)$$

Sous l'hypothèse (Matheron, 1988) que la fonction variogramme $2\gamma(x,h)$ ne dépend que de l'inter-distance h (en module et direction) et non du point x, l'estimation du variogramme $2\gamma(x,h)$, à partir des données disponibles, devient alors possible en un estimateur $2\gamma(h)$ égal à la moyenne mathématique des écarts quadratiques entres deux mesures expérimentales $[Z(x_i) , Z(x_i + h)]$:

$$2\gamma(h) = \frac{1}{(N-h)} \sum_{i=1}^{N-h} \left[Z(x_i) - Z(x_i + h) \right]^2 \quad (2)$$

où (N–h) est le nombre de couples expérimentaux.

Le graphique du variogramme donne des renseignements multiples sur l'évolution temporelle ou spatiale de la variable et fournit alors une description des similarités ou différences entre deux points distants d'un vecteur distance « h » (Lacaze *et al.*, 1994).

Ainsi, le variogramme caractérise la variabilité spatiale de deux variables aléatoires. En imagerie, il s'agit alors, de quantifier la variabilité des intensités de deux points de l'image en fonction de la distance (en pixels) les séparant.

2.3. Application du variogramme aux images numériques

L'exploitation des caractéristiques du variogramme en imagerie a été abordée par Huang et Cressie (1998) qui ont développé un estimateur de la variance du bruit en considérant le comportement du variogramme à l'origine pour la restauration d'images bruitées. Quant au paramètre « portée » extrait du variogramme, il a été utilisé pour la détermination du nombre et de la distribution d'arbres dans les images satellitaires (Daley *et al.*, 1998). De même, les périodicités du variogramme ont été intégrées dans un processus simulant la croissance d'une plantation de palmiers dans des images radar haute résolution (Izzawati *et al.*, 1997). Symanzik *et al.* (1997) ont identifié les structures des nuages en étudiant les valeurs de leurs variogrammes. En imagerie satellitaire, les variogrammes croisés de paires stéréoscopiques ont permis de corriger les valeurs de relief des modèles numériques d'altitude (Sénégas *et al.*, 1999).

Notons que, pour toutes ses applications, le variogramme est étudié de façon qualitative. Nous avons montré que le variogramme permet de décrire de manière quantitative les structures spatiales des images de texture (Kourgli et Belhadj, 2000). Dans cet article, nous proposons de déterminer automatiquement les caractéristiques

du variogramme et de les exploiter dans des procédures de segmentation texturale.

Calculer le variogramme dans différentes directions s'avère intéressant si l'on souhaite décrire les formes des structures spatiales.

La même grille de point peut être lue de différentes manières. Il existe quatre directions principales de calcul (figure 1). Notons cependant que, lors d'une lecture en diagonale, la distance entre deux points se trouve augmentée de $\sqrt{2}$.

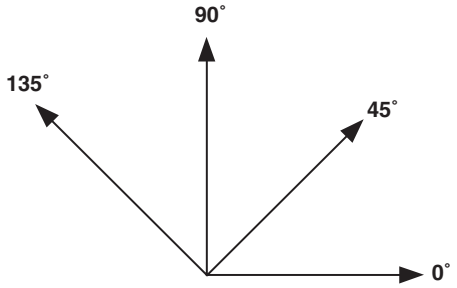


FIGURE 1 Directions principales de calcul du variogramme. *Principal directions of variogram estimation.*

Considérons deux valeurs numériques de l'image, Z(x,y) et Z(x + h, y + v), implantées en deux pixels distants d'un vecteur (h,v). On caractérise la variabilité entre ces deux intensités par la fonction variogramme $2\gamma(h,v)$ définie comme l'espérance de la variable $[Z(x, y) - Z(x + h, y + v)]^2$,
soit

$$2\gamma(x, y, h, v) = E([Z(x, y) - Z(x + h), y + v)^2] \quad (3)$$

Alors, l'estimateur $2\gamma(h,v)$ est égal à la moyenne mathématique des écarts quadratiques entres deux intensités $[Z(x_i, y_i), Z(x_i+h, y_j+v)]$:

$$2\gamma(h, v) = \frac{1}{(N-h)(M-v)} \times \sum_{i=1}^{N-h} \sum_{j=1}^{M-v} \left[Z(x_i, y_j) - Z(x_i + h, y_j + v)\right]^2 \quad (4)$$

où $(N - h) \times (M - v)$ est le nombre des couples expérimentaux.

Pour une image numérique I(i,j) de taille N × M, nous pouvons estimer le variogramme bidimensionnel suivant différentes directions (angles).

Pour les quatre directions principales, nous obtenons les formulations suivantes :

– pour la direction horizontale (angle = 0°) :

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N \times (M-h)} \times \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{M-h} \left[I(i,j) - I(i,j+h)\right]^2 \quad (5)$$

I(i, j) est le niveau de gris associé au pixel de position (i, j) ;
h est le pas ;
N est le nombre de lignes ;
M est le nombre de colonnes.

– pour la direction verticale (angle = 90°) :

$$2\gamma(h) = \frac{1}{(N-h) \times M} \times \sum_{i=1}^{N-h} \sum_{j=1}^{M} \left[I(i,j) - I(i+h,j)\right]^2 \quad (6)$$

– pour la direction diagonale 1 (angle = 45°) :

$$2\gamma(h) = \frac{1}{(N-h) \times (M-h)} \times \sum_{i=1}^{N-h} \sum_{j=1}^{M-h} \left[I(i,j) - I(i+h,j+h)\right]^2 \quad (7)$$

– pour la direction diagonale 2 (angle = 135°) :

$$2\gamma(h) = \frac{1}{(N-h) \times (M-h)} \times \sum_{i=1}^{N-h} \sum_{j=1}^{M-h} \left[I(i,j) - I(i-h,j+h)\right]^2 \quad (8)$$

L'algorithme de calcul du variogramme suivant la direction horizontale est le suivant :

```
début de programme
    répéter pour h = 1 à M – 1
        Somme = 0
        répéter pour i = 1 à N
            répéter pour j = 1 à M – h
                Somme = Somme + (I(i,j) – I(i,j+h))²
            fin pour j
        fin pour i
        γ(h) = Somme/(2 x N x (M – h) ;
    fin pour
fin programme
```

3. ANALYSE VARIOGRAPHIQUE DES TEXTURES DE BRODATZ

Pour illustrer dans une première phase, les informations apportées par le calcul et le tracé du variogramme, nous l'avons appliqué sur des textures extraites de l'album de Brodatz (1966).

Le variogramme de la figure 3 a été estimé suivant la direction horizontale pour la texture sable (figure 2) extraite de l'album de Brodatz. Le comportement à l'origine est une première information utile. Sur la figure 3, on constate que $\gamma(h)$ croit régulièrement, ce qui témoigne d'une continuité, d'une dépendance entre les intensités de l'image. Lorsque la différence moyenne des valeurs est constante pour toutes les distances « h », cela traduit une absence complète d'une structuration spatiale des valeurs. À l'inverse, une pente non nulle du variogramme près de l'origine indique une présence de structures et un changement abrupt de la pente du variogramme, indique le passage à des structures de nature différente.

Une seconde source d'information est apportée par les ruptures de croissance qui affectent le tracé du variogramme. Généralement, le variogramme décroît après une distance « h_p » qui est appelée la portée. Cette portée mesure la distance pendant laquelle l'influence d'une variable se fait sentir. Ainsi, sur la figure 3, la portée est de 10 pixels. Le variogramme peut aussi présenter des paliers avec une décroissance passagère. Ces paliers sont le témoignage de l'emboîtement de structures, chacun d'eux correspondant à une structure spatiale. Ainsi, sur la même figure 3, l'emboîtement « h_e » est de 16 pixels.

Nous avons établi un processus qui, pour chaque fenêtre d'analyse, permet de calculer dans un vecteur caractéristique les paramètres pertinents (emboîtement, portée) du semi-variogramme. Les différents algoritmes proposés et élaborés ont été écrits dans le langage de programmation C++.

Pour démontrer l'apport du variogramme pour la détermination des tailles de primitives, nous avons appliqué l'analyse variographique à des textures naturelles de Brodatz, à savoir les textures « raphia », « coton » et « tissu » représentées respectivement sur les figures 4, 5 et 6.

Les variogrammes obtenus sont illustrés respectivement sur les figures 7, 8 et 9. Pour la texture « raphia », les variogrammes des quatre directions données sur la figure 7 sont caractérisés par les portées de 8, 5, 4 et 5 pixels, et par les emboîtements de 11, 9, 8 et 9 pixels correspondant aux directions 0°, 90°, 135°et 45°. Ils présentent des allures pseudo-périodiques liées à la présence d'une primitive de texture de taille 11 × 9 pixels où 11 est la dimension horizontale et 9 la dimension verticale. Pour la texture « cotton », les variogrammes suivant la direction horizontale et verticale (figure 8) indiquent la présence d'une primitive de texture de taille 10 × 12 pixels. Il en est de même pour la texture « tissu », les deux variogrammes suivant la direction horizontale et verticale de la figure 9 sont caractérisés par des portées de 5 et 7 pixels et par des emboîtements de 11 et 13 pixels respectivement. Les variogrammes présentent une allure pseudo-périodique, ce qui traduit l'existence d'une primitive de texture de taille 11 × 13 pixels.

Puisque la portée et l'emboîtement permettent de caractériser des textures différemment structurées, nous avons proposé d'intégrer ces caractéristiques dans une procédure de segmentation texturale des images aériennes.

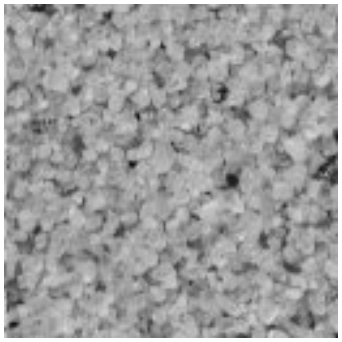


FIGURE 2 Texture « sable » de taille 128 × 128 pixels.
« Sand » texture of 128 × 128 pixels.

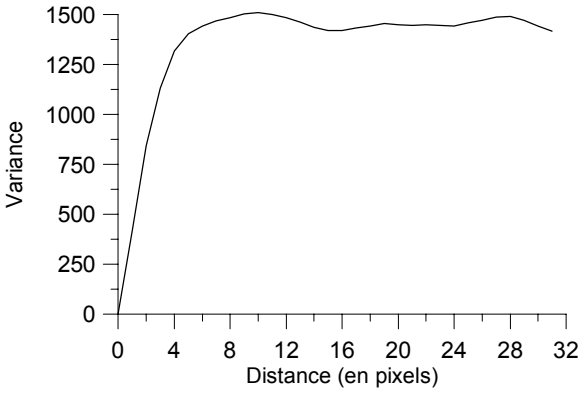


FIGURE 3 Variogrammes de la texture « sable » de la figure 2. *Variograms of « Sand » texture of figure 2.*

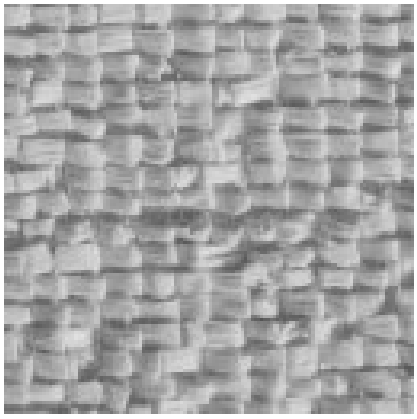


FIGURE 4 Texture « raphia » de taille 128 × 128 pixels.
« Raffia » texture of 128 × 128 pixels.

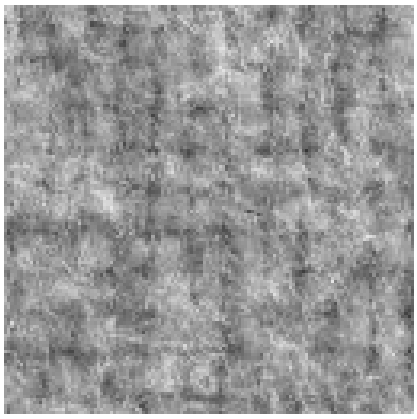


FIGURE 5 Texture « coton » de taille 128 × 128 pixels.
« Cotton » texture of 128 × 128 pixels.

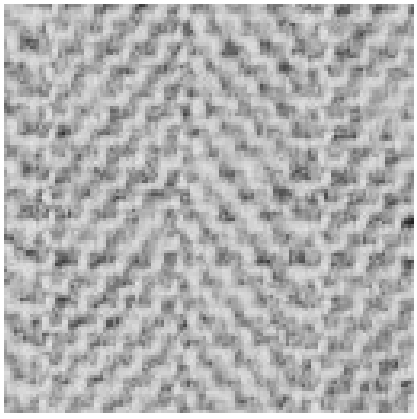


FIGURE 6 Texture « tissu » de taille 128 × 128 pixels.
« Wollen cloth » texture of 128 × 128 pixels.

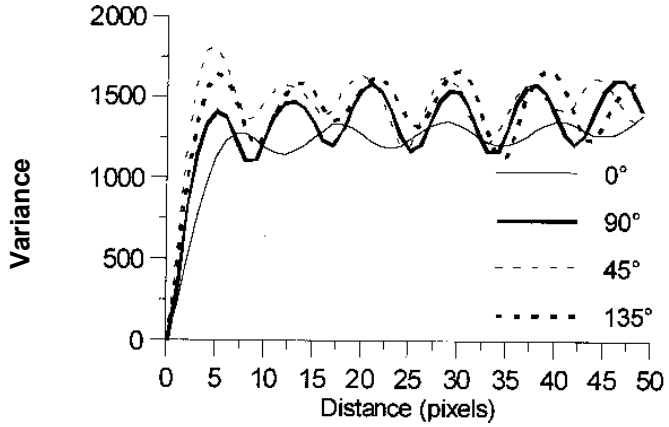


FIGURE 7 Variogrammes de la texture « raphia ». *Variograms of « raffia » texture.*

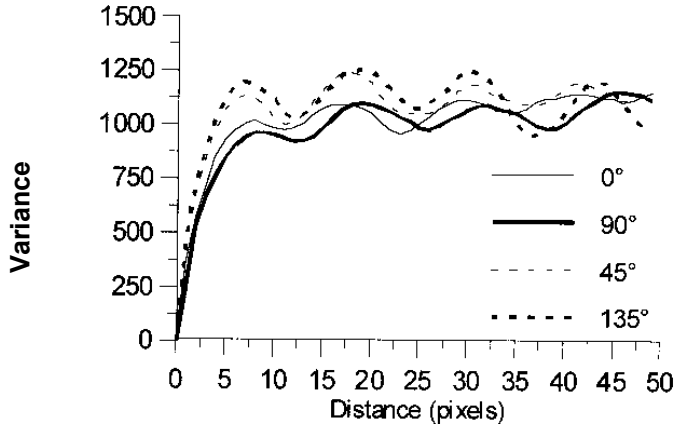


FIGURE 8 Variogrammes de la texture « coton ». *Variograms of « cotton » texture.*

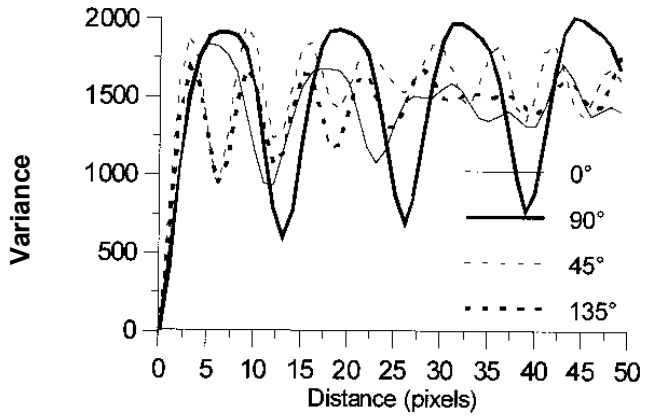


FIGURE 9 Variogrammes de la texture « tissu ». *Variograms of « wollen cloth » texture.*

4. SEGMENTATION TEXTURALE

Les techniques de segmentation texturale sont des procédures de partition du contenu d'une image en un nombre de classes selon les caractéristiques texturales de ces classes. Ces caractéristiques sont les attributs texturaux des objets constituant les classes. Il existe deux approches de classification qui sont : la segmentation automatique ou non dirigée et la classification dirigée. Pour notre part, nous nous sommes intéressés à la segmentation dirigée des objets selon leurs attributs texturaux en utilisant le sous-ensemble de paramètres de texture déduits du variogramme.

L'algorithme de segmentation que nous avons développé est basé sur une règle de décision du minimum de distance (distances relatives à l'emboîtement, à la portée et aux valeurs du variogramme). Pour une meilleure discrimination des primitives de texture, nous proposons d'effectuer plusieurs segmentations, l'algorithme étant chaque fois le même à une variante près. La différence se situe au niveau de la caractéristique du variogramme utilisée dans la règle de décision, le premier algorithme combine les deux paramètres : valeurs du variogramme et distances relatives à la portée, le deuxième repose sur l'utilisation des valeurs du variogramme et des distances relatives à l'emboîtement et, enfin, un troisième intègre dans la règle de décision les trois paramètres adoptés dans les deux précédents algorithmes et ce, suivant les quatre directions principales.

Nous présentons, l'algorithme 1, les deux autres pouvant être aisément déduits à partir de ce dernier, moyennant une modification de la règle de décision.

Algorithme 1 :

– Il faut d'abord, déterminer la taille de la fenêtre d'analyse.

– Par la suite, il faut sélectionner des échantillons de l'image qui constitueront les classes, pour chacune de ces classes, il faut :

– calculer le variogramme $\gamma_j(h,\theta)$ (j : classe, θ : direction) suivant les quatre directions pour chaque classe j ;

– déterminer pour chaque classe et dans les quatre directions les portées $Pj(\theta)$.

Pour cette étape, le calcul de la portée se fait par comparaison des valeurs du variogramme, une analyse de ce dernier est effectuée et un algorithme basé sur une détection du maximum est élaboré et implémenté.

– Une fois les portés déterminées, il faut alors balayer l'image entière par la fenêtre d'analyse avec un pas de un pixel en ligne et en colonne, en calculant les variogrammes $\gamma(h,\theta)$ et les portées $P(\theta)$ à chaque position, afin de :

– calculer les différences suivantes :

$$\text{diff } \gamma_j(\theta) = \sum_h (\gamma_j(h,\theta) - \gamma(h,\theta)) \qquad (9)$$

$$\text{diff Pj } (\theta) = P_j(\theta) - P(\theta) \qquad (10)$$

– et, enfin, affecter le pixel central de la fenêtre à la classe « j » telle que Occ(j) soit maximum :

$$\text{Occ (j)} = \text{card } \{j \,/\, \text{diff Kj}(\theta) \text{ est minimum}\}$$
$$K=\{\gamma \text{ ou } P\} \qquad (11)$$

5. SITE D'ÉTUDE

Nous avons appliqué ces procédures de segmentation sur une photographie aérienne de taille 512 × 512 (figure 10). La région d'étude est située à environ 10 km d'Alger. Région initialement agricole, elle est aujourd'hui envahie par un tissu urbain qui se densifie de jour en jour. Elle est marquée par une forte concentration urbaine (partie supérieure gauche de l'image) autour de l'université de Bab-Ezzouar et la commune de Dar-El-Beida (partie droite supérieure de l'image), entre les deux on trouve des terrains nus. La partie gauche inférieure de l'image correspond à une zone industrielle ; à sa droite, on trouve un tissu moins dense à proximité de l'aéroport international (coin inférieur droit de l'image). En ces différents tissus urbains, l'espace agricole s'est rétréci : on trouve tantôt des terrains cultivés et tantôt des sols nus et très peu de végétation.

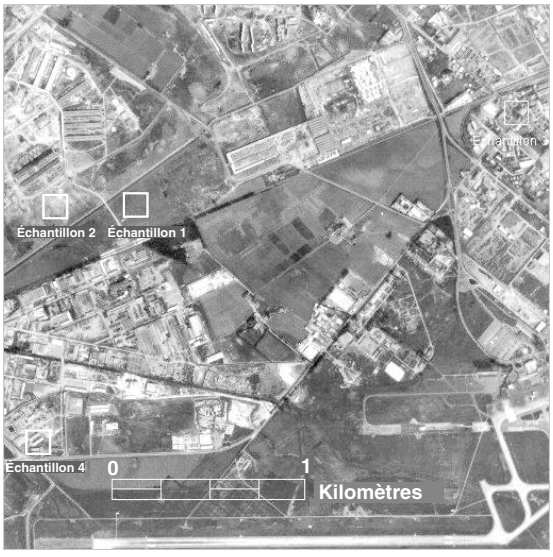


FIGURE 10 Photographie aérienne d'une zone d'Alger et localisation des zones d'échantillonnage. *Aerial photography of an Algiers' area.*

6. RÉSULTATS

La méthodologie proposée et étudiée a été appliquée et testée sur la région d'étude pour la détection des zones urbaines et des sols. Comme notre image englobe des structures denses, des structures moins denses, des sols nus et des sols couverts, pour chacun de ses thèmes, nous avons affecté une classe. Pour caractériser ces thèmes par le tracé et l'analyse de leurs variogrammes, nous avons extrait quatre échantillons de taille 24×24 pixels correspondant à chacun de ces thèmes.

À ce niveau, il faut noter qu'il est difficile de choisir la taille de la fenêtre d'analyse, donc de l'échantillon qui dépend de la nature de chaque image. Elle doit être supérieure ou égale au maximum des tailles des primitives de texture. En effet, le variogramme calculé sur une fenêtre trop petite ne permettrait pas de localiser les primitives de texture. Par contre, lorsque la taille de la fenêtre augmente, les variogrammes sont plus représentatifs de l'aspect global de la texture et captent mieux la structure de la texture, mais les tailles de fenêtre d'analyse importantes altèrent la précision de la segmentation. Après plusieurs tests utilisant des fenêtres de tailles variables, nous avons retenu une fenêtre de 24×24 pixels que nous avons jugée adaptée à la structure de l'image sélectionnée.

Les variogrammes des quatre échantillons sont illustrés aux figures 11 à 14. Les variogrammes de l'échantillon représentant le sol nu (figure 11) présentent peu de variations puisque cette zone est quasi homogène, donc peu structurée. En effet, les valeurs de portée pour les trois directions (0°, 135° et 45°) sont de 21, 7 et 21 pixels, pour la direction verticale, le variogramme ne présente pas de maximum. Les distances correspondant aux emboîtements sont de 9 pixels pour la direction 45° et nulles pour les autres directions..

Les variogrammes correspondant au sol couvert (figure 12) présentent, eux aussi, peu de variations avec des portées de 3, 2, 8 et 13 pixels et des emboîtements de 7, 5, 11 et 15 pixels pour les quatre directions.

Sur la figure 13, on présente les variogrammes obtenus pour l'échantillon représentant le tissu urbain dense, les portées pour les quatre directions sont de 9, 6 , 5 et 8 et les emboîtements de 17, 11, 8 et 11. Ces variogrammes sont caractérisés par des changements d'allures témoignage de l'existence de différents paliers *a fortiori,* donc de différentes structures correspondant aux différentes tailles des habitations.

Les variogrammes correspondant aux zones urbaines moins denses comportant notamment des hangars (figure 14) sont quant à eux caractérisés par des portés de 11, 3, 2 et 7 et des emboîtements de 6, 4 et 15 pour les directions verticales et les deux diagonales. Ils présentent, en outre, des allures plus régulières liées à la présence de structures (hangars) similaires.

Le résultat de la segmentation obtenu à partir de ces variogrammes et en utilisant les algorithmes précédents est représenté sur les figures 15 à 17. Chaque classe est identifiée par une couleur différente : le noir correspond aux sols nus, le gris aux sols couverts, le rouge aux structures denses et le jaune aux structures moins denses. L'interprétation est faite de façon visuelle. Nous notons que l'application de l'algorithme basé sur les paramètres combinés aux distances d'emboîtement donne une image grossièrement segmentée (figure 15) où l'on reconnaît les quatre différentes structures que nous avons sélectionnées et choisi d'identifier. Par contre, l'application de l'algorithme reposant sur la comparaison des distances relatives à l'emboîtement apporte une segmentation plus fine (figure 16) du fait que les valeurs des emboîtements calculées sont bien différentes pour chacune des classes retenues. Néanmoins, le résultat présente des effets de discontinuité. Enfin, la combinaison de ces deux paramètres nous a permis d'obtenir un troisième résultat de segmentation (figure 17) plus homogène. Les caractéristiques texturales (valeurs du variogramme, emboîtements et portées) utilisées dans la procédure de segmentation permettent d'identifier de façon similaire les mêmes structures en les attribuant à la même classe de texture sur la base de ces caractéristiques. Mais certaines erreurs persistent ; elles sont dues au chevauchement des fenêtres d'analyse dans la procédure de traitement. En effet, sur un échantillon de taille 24×24, deux thèmes ou plus peuvent être présents et le pixel central de cette fenêtre sera alors attribué à la classe prédominante. Il en sera de même pour les pixels voisins à cet échantillon, ce qui engendre une segmentation grossière avec d'importants effets de blocs. Il faudrait donc réduire la taille des fenêtres d'analyse, mais ceci n'est point indiqué pour l'analyse variographique, puisqu'il ne sera plus possible de détecter les périodicités (emboîtements).

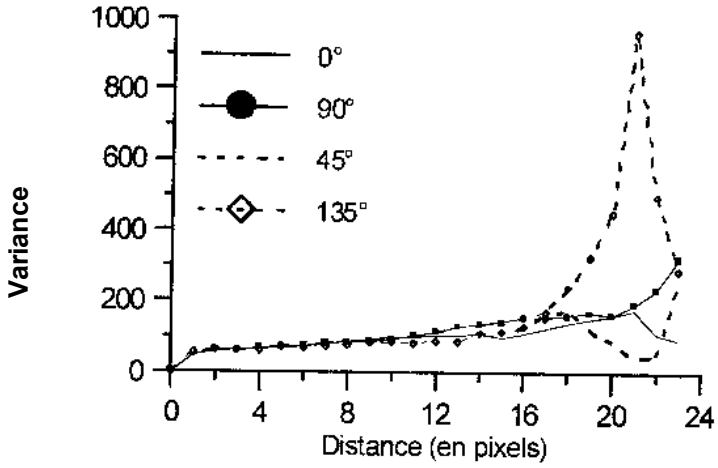


FIGURE 11 Variogrammes de l'échantillon 1 (sols nus). *Variograms of sample 1 (uncovered lands).*

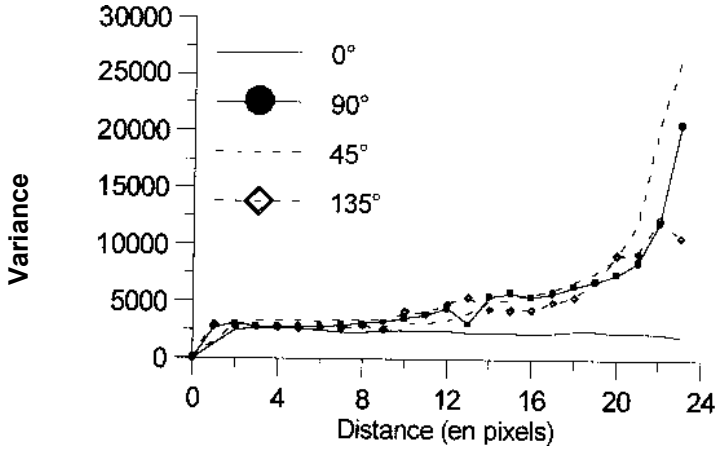


FIGURE 12 Variogrammes de l'échantillon 2 (sols couverts). *Variograms of sample 2 (covered lands).*

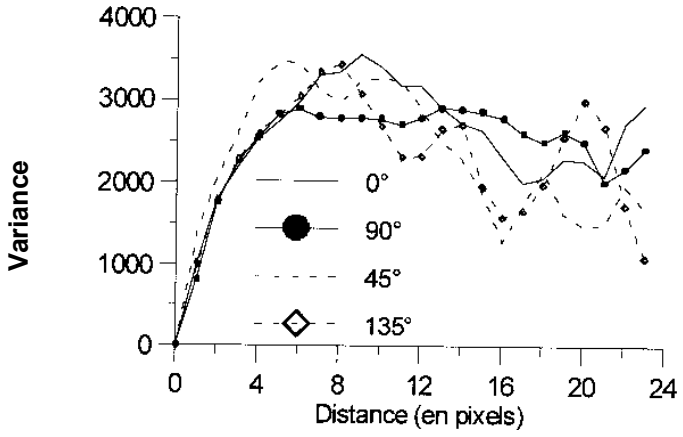


FIGURE 13 Variogrammes de l'échantillon 3 (tissu urbain dense). *Variograms of sample 3 (dense built-up environment).*

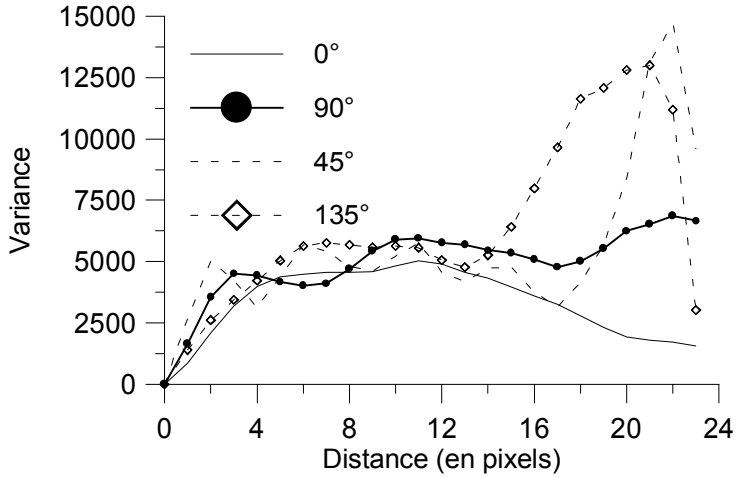


FIGURE 14 Variogrammes de l'échantillon 4 (tissu urbain peu dense). *Variograms of sample 4 (less built-up environment).*

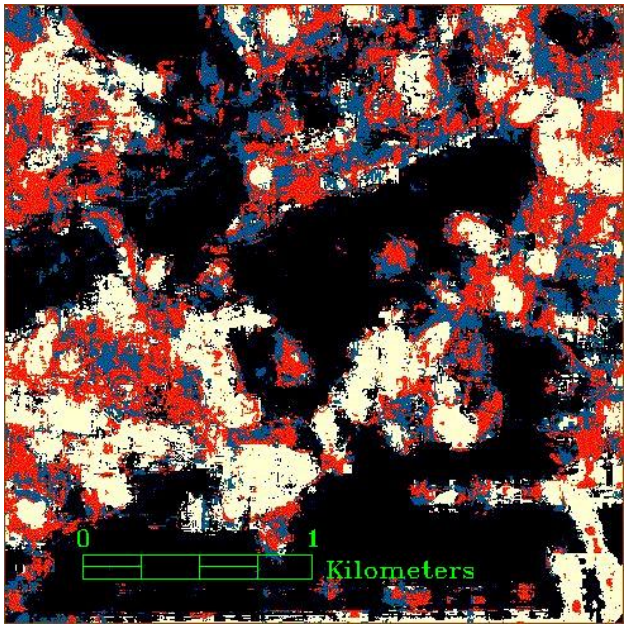


FIGURE 15 Photographie aérienne de la figure 10 classifiée par les distances de portée : noir (échantillon 1) = sols nus ; rouge (échantillons 3) = tissu urbain dense ; gris (échantillon 2) = sols couverts ; jaune (échantillon 4) = tissu urbain peu dense. *Classification of the aerial photography of figure 10 using range of influence distances : dark (sample 1) = uncovered lands ; red (sample 3) = dense built-up environment ; grease (sample 2) = coverer lands ; yellow (sample 4) = less dense built-up environment.*

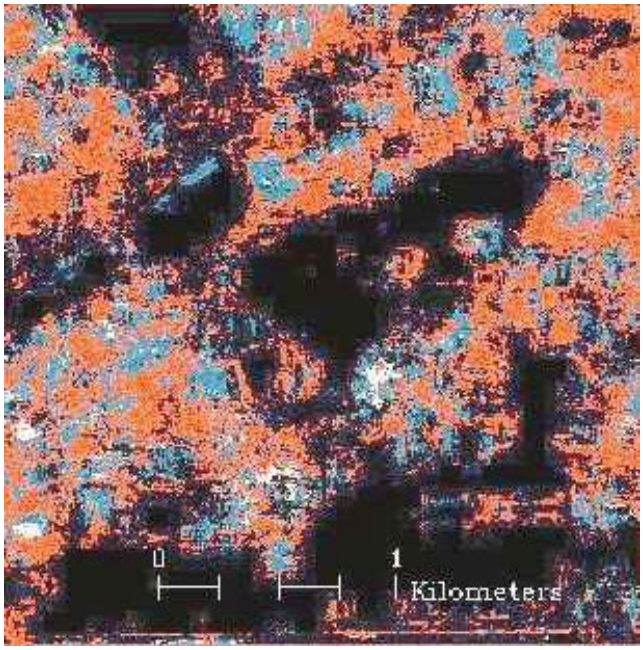


FIGURE 16 Photographie aérienne de la figure 10 classifiée par les distances d'emboîtement : noir (échantillon 1) = sols nus ; rouge (échantillons 3) = tissu urbain dense ; gris (échantillon 2) = sols couverts ; jaune (échantillon 4) = tissu urbain peu dense. *Classification of the aerial photography of figure 10 using hole effect distances : dark (sample 1) = uncovered lands ; red (sample 3) = dense built-up environment ; grease (sample 2) = coverer lands ; yellow (sample 4) = less dense built-up environment.*

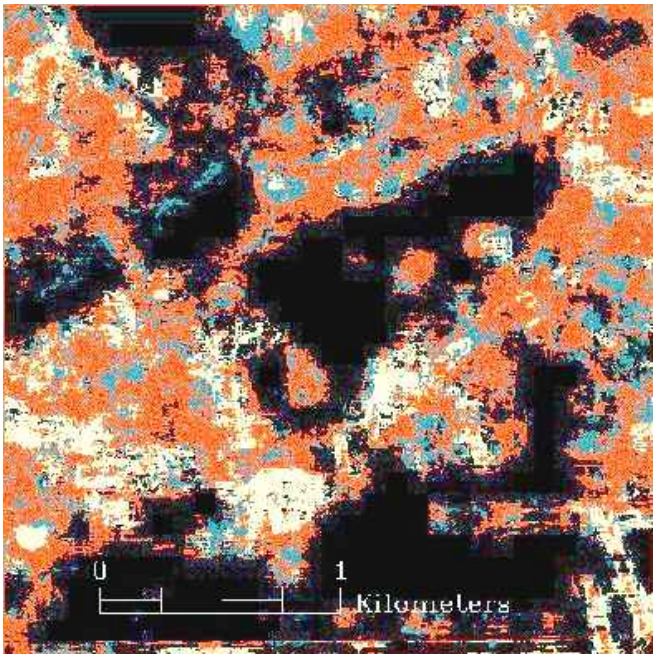


FIGURE 17 Photographie aérienne de la figure 10 classifiée par les distances de portée et d'emboîtement : noir (échantillon 1) = sols nus ; rouge (échantillons 3) = tissu urbain dense ; gris (échantillon 2) = sols couverts ; jaune (échantillon 4) = tissu urbain peu dense. *Classification of the aerial photography of figure 10 using range of influence and hole effect distances : dark (sample 1) = uncovered lands ; red (sample 3) = dense built-up environment ; grease (sample 2) = coverer lands ; yellow (sample 4) = less dense built-up environment.*

5. CONCLUSION

Nous avons montré que l'information apportée par l'analyse variographique constitue un critère de discrimination et d'extraction des paramètres qui caractérisent la texture. En calculant le variogramme suivant un angle ou une direction, on obtient une première description des primitives de texture liée à leur taille et à leur arrangement spatial. Nous avons ensuite intégré les paramètres extraits du variogramme dans une procédure de classification qui est sans doute la phase la plus délicate dans l'analyse de l'image. En effet, toute interprétation du contenu de l'image repose sur la qualité des résultats obtenus à l'issue de cette phase fondamentale. L'efficacité du processus de la classification que nous avons développé avec le variogramme est liée principalement à la qualité des paramètres retenus à partir de la procédure de sélection. Au niveau de chaque fenêtre de l'image, les distances et les valeurs de la portée et de l'emboîtement sont calculées par rapport à toutes les classes. À cet effet, le temps de calcul augmente en fonction du nombre de classes et de paramètres sélectionnés. Il est vrai que d'autres paramètres extraits du variogramme pourraient sensiblement améliorer la précision de la classification de même que la combinaison d'autres outils de traitement de voisinage. L'utilisation de la variographie ne s'est pas révélée sans intérêt pour l'analyse texturale des images urbaines : c'est un outil d'aide à l'analyse et la discrimination de la texture des états de surface.

Plusieurs voies restent à explorer, notamment les caractéristiques du variogramme impliquées dans un modèle décisionnel de classification, la comparaison des résultats de segmentation avec d'autres procédures de classification contextuelles afin d'établir une estimation quantitative de la précision de la segmentation ainsi que l'exploitation des images résultantes dans une méthodologie de caractérisation aussi bien thématique que structurale des états de surface par la combinaison des images aériennes et satellitaires à haute résolution.

Références

Brazier, R. A. and Boomer, K. (1995) Enhancing the Sampling Procedure through a Geostatistical Analysis. Proceedings of the February 1995 U.S. Environmental Protection Agency/ Air and Waste Management Association,

http ://www.essc.psu.edu/~brazier/ geo.html.

Brodatz, P. (1966) Textures : A Photographic Album for Artists and Designers. Dover Publications, New York, http://sipi.usc.edu.

Cressie, N. A. (1993) Statistics for Spatial Data. Revised edition, 6Wiley-Interscience, New York, 900 p.

Daley, N. M. A., Burnett, C. N., Wulder, M., Niemann, K. O. and Goodenough, D. G. (1999) Comparison of Fixed-size and Variable-sized Windows for the Estimation of Tree Crown Position. http:// www.engr.uvic.ca/~ndaley/nigel/vws.ps.

Haralick, R. M. (1986) Statistical Image Texture Analysis. Chapter 11 of Handbook of Pattern Recognition and Image Processing. Academic Press Edition, p. 247-279.

Huang, H-C. and Cressie, N. (1998) Deterministic/Stochastic Wavelet Decomposition for Recovery of Signal from Noisy Data. http://www.public.iastate.edu/~huang/wavelet.ps.gz.

Izzawati, Lewis, P. and McMorrow, J. (1997) 3D Model Simulation of Polarimetric Radar Backscatter and Texture of an Oil-Palm Plantation.

http://www.geog.ucl.ac.uk/~mdisney/izza.ps

Kourgli, A. et Belhadj-aissa, A. (1997) Approche structurale de génération d'images de texture. International Journal of Remote Sensing, vol. 18, nº 17, p. 3611-3627.

Kourgli, A. and Belhadj-Aissa, A. (2000) Characterising Textural Primitives using Variography. *Proceedings of IMVIP 2000 conference, 31 August-2 September, Belfast, Ireland*. p. 165-175.

Lacaze, B., Rambal, S. and Winkel, T. (1994) Identifying spatial patterns of Mediterranean landscapes from geostatistical analysis of remotely-sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 15, n° 12, p. 2437-2450.

Marceau, D.J., Howarth, P.J., Dubois, J-M. M. and Gratton, D.J. (1990) Evaluation of the Grey-Level Co-Occurrence Matrix Method for Land-Cover Classification Using SPOT Imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, n° 4, p. 513-518.

Matheron, G. (1988) The internal consistency of modes in geostatistics. *Geostatistics Proceedings of the Third International Geostatistics Congress, September 5-9, 1988*, Avigon, France, vol. 1, p. 21-38.

Reed, T. R. and Du Buf J. M. H (1993) A Review of Recent Texture Segmentation and Feature Extraction Techniques. *CVGIP: Image Understanding* vol. 57, n° 3, p. 359-372.

Sénégas, J., Schmitt, M. and Nonin, P. (1999) Geostatistical Analysis of Stereoscopic Pairs of Satellite Images. http:// cg.ensmp.fr/pub/users/senegas/senegas00c.ps.gz

Srivastava, M.R. and Parker, H. M. (1988) Robust Measures of Spatial Continuity. *Geostatistics Proceedings of the Third International Geostatistics Congress, September 5-9,* 1988, Avigon, France, vol. 1, p. 295-308.

Symanzik, J., Megretskaia, I., Majure, J. J. and Cook, D. (1997) Implementation Issues of Variogram Cloud Plots and Spatially Lagged Scatterplots in the Linked ArcView 2.1™ and Xgobi Environment.

http://www.galaxy.gmu.edu/~symanzik/papers/1996_acm.ps

Thomas, G. S. (1997) Interactive Analysis and Modelling of Semi-Variograms. *Proceeding, of 1st International Conference on Information Technologies in the Minerals Industry* (via the Internet), December 2-13, Paper GT67, A.A. Balkema, Rotterdam,

http://www.snowdenau. com/techno/visor/papers/GT67T1.