

Traitements de voisinage en vue de l'extraction du réseau routier urbain : application à une image RSO de Douala (Cameroun)

Kombé Timothée
Université de Douala
BP 8698 Douala
(Cameroun)
E-mail tkombe@yahoo.fr

Assako Assako R. J.
Groupe de Recherche sur
les Villes d'Afrique
(GREVA)
E-mail rjassako@yahoo.fr

Tonyé Emmanuel
Ecole Nationale Supérieure
Polytechnique (ENSP) de
Yaoundé (Cameroun)
E-mail tonyee@hotmail.com

Résumé

Nous présentons ici une méthode de détection du réseau routier, tenant compte de la granularité des images radar à synthèse d'ouverture (RSO). Compte tenu de la longueur d'onde d'ERS1 (5,6 cm), le revêtement des routes apparaît comme lisse. Deux situations peuvent se présenter. D'une part, le signal peut être totalement réfléchi (on parle de réflexion spéculaire). Les routes présentent de très faibles valeurs radiométriques. D'autre part, le signal renvoyé par le minéral routier peut être perturbé par celui d'autres éléments géographiquement proches: talus, haies, toits de maisons (on parle d'interférence). Les routes peuvent alors apparaître très brillantes. Compte tenu de la structure urbaine de Douala, qui se développe sur un site essentiellement marécageux, on peut retenir trois catégories de voies : celles qui sont bitumées et ont une emprise supérieure à 15 m ; celles qui sont bitumées ou non et dont l'emprise est inférieure à 12,5 m (résolution de l'image) ; et celles qui sont en terre et dont l'emprise est inférieure à 6 m). Une détection de contours avec un seuil bas supérieur au niveau radiométrique de l'eau et un seuil haut inférieur à celui des points brillants (tôle) permet d'isoler l'eau. Ainsi, une squelettisation, suivie d'une détection de structures linéaires, permet de supprimer les fausses barbules et de ressortir la première catégorie des voies (grands axes). L'extraction des deux autres catégories nécessite l'intégration des images de plus fine résolution géométrique.

1. Introduction

Les réseaux urbains sont de natures diverses et ne sont malheureusement que très partiellement accessibles. La détection des réseaux urbains et leur caractérisation (type de transport, revêtement, ...) sont d'un très grand intérêt pour les pays en voie de développement [4]. Ici à l'intérieur d'une zone urbaine, on passe facilement d'une route revêtue à une route non revêtue. Ceci pose un véritable problème d'identification.

Nous proposons ici une méthode de détection basée sur la squelettisation, après filtrage et détection des contours de l'image originale. L'identification des routes à largeur plus petite (inférieure à la taille du pixel) est difficile d'abord à cause de cette taille qui rend difficile l'application du traitement. Ensuite, Douala étant une ville côtière, le squelette de l'eau de mer est également présent sur le résultat, ce qui crée une confusion. Pour contourner cette difficulté, nous proposons une deuxième démarche basée sur la détection des structures linéaires. Elle permet de distinguer l'eau et les objets de forme quelconque, pouvant être détectés par simple squelettisation, de la route.

L'image utilisée (tableau 1), est une image du satellite ERS1.

Tableau 1. Caractéristiques de l'image utilisée

Satellite	ERS1
Date d'enregistrement	23 / 08 / 1994
Surface couverte	100 Km x 100 Km
Polarisation	V V
Résolution spatiale	20m x 20m (original : 12,5m x 12,5m)
Taille de l'image	640 x 400
Fréquence	5,3 GHz
Longueur d'onde	5,6 cm
Bande	C
Angle d'incidence	23°
Longitude	8°30 - 9°50
Latitude	3° - 5°

2. Méthodologie

De nombreux travaux permettent aujourd'hui la détection automatique ou quasi automatique du réseau routier sur les images satellitaires optiques à haute résolution. Une bonne illustration est faite dans [4]. Les méthodes traditionnelles utilisées pour la détection des structures linéaires sont mises en échec sur les images radar, car elles sont fondées en majorité sur des différences de moyennes entre zones [5]. Or le défaut principal de ces opérateurs sur les images RSO est d'avoir un comportement différent suivant la radiométrie moyenne de la zone [1]. L'une des solutions pour résoudre ce problème lié à l'imagerie radar, est de considérer non pas la différence des valeurs radiométriques, mais leur rapport. Utiliser le rapport entre les radiométries de deux zones semble être l'équivalent en imagerie RSO du gradient généralisé en imagerie optique. Nous adoptons la méthode par détection des structures linéaires. Elle est plus adaptée à notre étude du fait de la variation brusque des niveaux de gris entre les objets longeant les routes. On procède en trois phases.

2.1. Détection de contour rapport

La rétrodiffusion radar d'un objet quelconque peut être modélisée par un ensemble de réflecteurs élémentaires [9]. Le nombre, la disposition et la puissance des réflecteurs définissent, par l'addition des ondes cohérentes qu'ils réfléchissent, la puissance que mesure le radar. Pour l'espace urbain caractérisé par l'hétérogénéité des objets qui le composent, une classification en trois ensembles est faite en fonction de leur géométrie et de leur rugosité. On distingue: les surfaces lisses, les surfaces rugueuses et les surfaces conductrices. Les surfaces rugueuses sont celles dont les irrégularités de surface sont suffisamment prononcées devant la longueur d'onde. Le signal réémis par de telles surfaces est de type incohérent, chaque élément de surface réfléchissant le signal de façon incohérente [4]. Cela correspond à une construction du speckle comportant un grand nombre de réflecteurs ayant une phase uniformément répartie (φ_j) et une amplitude (a_j) gaussienne. Le champ électrique complexe s'écrit alors :

$$E = \sum_{j=1}^{n_r} a_j e^{i\varphi_j}$$

On en déduit que la loi de l'amplitude ($A = |E|$) est une loi de Rayleigh en mono-vue, et une loi $\chi(L)$ en multi-vue (pour L vue) [6].

La densité de probabilité de l'amplitude pour L vues suit une loi χ telle que:

$$p(x) = \frac{2}{\Gamma(L)} \left(\frac{P}{L}\right)^L x^{2L-1} e^{-\frac{Lx^2}{P}} \quad (1)$$

Où P est la puissance moyenne et Γ la fonction Gamma.

Dans le cas d'un détecteur de contours placé au pixel x_0 , pour une direction présumée du contour \vec{d} , les moyennes sont calculées de part et d'autre d'un axe centré en x_0 de direction \vec{d} . On forme alors le rapport r des deux moyennes \bar{x}_1 et \bar{x}_2 (r dépend de x_0 et de \vec{d}) tel que : $r = \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2}$

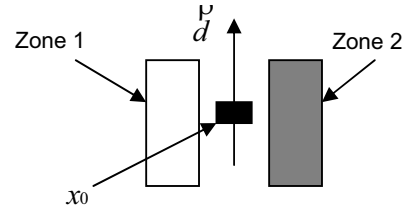


Figure 1. Illustration de la détection de contours

Ce détecteur prend ses valeurs dans l'intervalle $[0, +\infty[$; par ailleurs, comme il prend arbitrairement une direction, on préfère le détecteur r_c tel que:

$$r_c = \min\left(\frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2}, \frac{\bar{x}_2}{\bar{x}_1}\right)$$

La densité de probabilité de r_c peut s'exprimer en fonction du contraste $c = \frac{m_1}{m_2}$ entre les zones 1 et 2 avec $m_i = \sqrt{P_i}$, moyenne radiométrique de l'image telle que :

$$f_{r_c}(t, c) = \frac{2\Gamma(m_1 + m_2 L)}{\Gamma(m_1 L)\Gamma(m_2 L)} m_1^{m_1 L} m_2^{m_2 L} \left(\frac{c}{\sqrt{m_1 + m_2 c}}\right)^{2L(m_1 + m_2)} + \left(\frac{1}{c}\right)^{m_1 L} t^{2m_1 L - 1} \left(\frac{t^2 m_2 + \frac{m_1}{c}}{c}\right)^{L(m_1 + m_2)} \quad (2)$$

Elle ne dépend que de c , et donc la probabilité de détection est constante pour un contraste donné.

2.2. Détection de structures linéaires

Dans [5] est proposé une formulation générale de détection de contours, rendant possible l'existence de différences radiométriques entre les bords droit et gauche de la route. Ils définissent le détecteur de structures linéaires r_s par :

$$r_s^* = \min(r^{*c_2}, r^{*c_3})$$

r^{*c_i} est la réponse du détecteur de contour entre les zones 1 et i . Les moyennes sont calculées le long de la structure linéaire, sur les deux zones de part et d'autre, et sur la zone centrale dont on fait varier la largeur de 1 à 3 pixels. Le détecteur de ligne conserve la valeur correspondant au « moins bon contour ». Cette contrainte stricte assure que seules les lignes (et non les contours) seront détectées. Les seuils de décision pour les probabilités de fausses alarmes fixées se calculent de la manière suivante : soit f_x la densité de probabilité de la variable aléatoire X , et Φ_x sa fonction de répartition, on a :

$$f_{r^{*c_i}}(x, c_2, c_3) = f_{r^{*c_2}}(x, c_2)(1 - \Phi_{r^{*c_3}}(x, c_3)) + f_{r^{*c_3}}(x, c_3)(1 - \Phi_{r^{*c_2}}(x, c_2))$$

Pour les constantes $c_2 = \frac{m_1}{m_2}$ et $c_3 = \frac{m_1}{m_3}$ fixés, en utilisant la formule (2) pour les expressions $f_{r^{*c_1}}$ et $f_{r^{*c_2}}$, on peut encore écrire :

$$f_{r^{*c_i}}(x, c_i) = \frac{4\Gamma((n+m)L)\Gamma((n+m)L)}{\Gamma(nL)\Gamma(mL)\Gamma(nL)} m_1^{2mL} m_2^{mL} m_3^{mL} \left(\int_x^1 g(t, c_i) dt + g(x, c_i) \int_x^1 g(t, c_i) dt \right)$$

$$g(x, c_i) = \frac{C_i^{2mL} (1-x)^{2mL-1}}{\left((1-x)^2 m + n C_i^2 \right)^{L(m+n)} + \left(\frac{1}{C_i} \right)^{mL} (1-x)^{2mL-1}} \left(\frac{1}{C_i} \right)^{mL} (1-x)^{2mL-1}$$

Il ressort de ces formules que : La valeur moyenne du détecteur varie de 0 pour des contrastes nuls, à 1 pour des contrastes infinis. Pour avoir une probabilité de détection élevée, il faut un contraste minimal des deux côtés de la structure.

2.3. Comparaison

Une comparaison faite entre ces deux types de détecteurs permet de tirer les conclusions suivantes :

Les hypothèses servant aux calculs des statistiques étant les mêmes dans les deux cas, les résultats sont sensiblement comparables.

Sur une image, la présence du coefficient de variation dans le détecteur corrélation permet d'obtenir une réponse beaucoup plus précise que celle du détecteur rapport. En effet, pour les pixels distants de 1 ou 2 pixels du contour, non seulement le contraste diminue, mais les coefficients de variation des

différentes zones augmentent. Cette remarque est également valable lorsqu'une des zones contient un très fort réflecteur ; dans ce cas la réponse du détecteur rapport peut être favorable, mais pas celle du détecteur corrélation. Les réponses des deux détecteurs de structures sont calculées sur des voisinages de longueur 11 pixels, de largeur 7, et orientés dans 8 sens (4 directions), d'une variation de 22,5° entre 2 sens. Pour chaque détecteur, 3 réponses sont calculées pour un sens, correspondant à des largeurs de 1, 2 et 3 pixels pour la structure centrale. Pour chaque détecteur et chaque sens, la bonne réponse des 3 épaisseurs est gardée.

2.4. Phase globale : suivi des routes

L'image à traiter est une image radar ERS1 de résolution 12,5 m. La zone considérée est une basse plaine côtière (altitude variant entre 0 et 20 m).

En fonction des dimensions et du type de revêtement, nous avons classé les routes de Douala en différentes catégories : d'abord celles dont l'emprise est supérieure ou égale à 15 m, elles formeront les grands axes de la ville. On peut citer ici la route reliant l'axe lourd Yaoundé-Douala au pont sur le Wouri, en passant par la zone portuaire, on peut également citer ici le boulevard de la Liberté, ou encore l'axe Carrefour Agip – Rond point Deïdo. La deuxième catégorie serait celle dont l'emprise est inférieure à 12,5 m (résolution de l'image), qui correspondent aux routes secondaires. On pourrait citer ici la route reliant rond point Deïdo à Akwa nord, ou encore l'axe Marché Nkol Oloun - carrefour Saint Michel. La troisième catégorie serait celle des routes dont l'emprise est inférieure à 10 m, et des routes non revêtues, dont l'emprise est généralement inférieure à 6 m, voire 3 m.

Dans ce travail, nous nous limiterons à la détection du réseau primaire, c'est à dire celui des routes de la première catégorie. La détection des routes dites de deuxième et troisième catégories étant quasiment impossible, d'abord à cause de leur taille, ce qui rend difficile l'application du traitement au pixel près, ensuite parce qu'elles sont masquées par les objets environnants (principalement les toits de maisons ou les arbres).

Nous avons emprunté la démarche suivante : Dans un premier temps, nous avons fait une détection de contours de la région de Douala, en évitant de ressortir l'eau. Pour ce faire, il a fallu relever le seuil bas de détection, et le mettre au-dessus du niveau radiométrique de l'eau. Pour cette application, nous avons considéré le seuil bas $S_1 = 15$, ce qui est largement au-dessus du seuil de l'eau qui est de 0 pour l'eau calme. Nous choisissons ensuite le niveau haut de manière à supprimer toutes les valeurs très hautes de

niveau de gris (la valeur radiométrique de la route étant située dans la zone sombre). Le seuil haut sera donc $S2 = 60$. Le masque utilisé est le masque de Sobel bidirectionnel.

Dans la seconde application, nous définissons d'abord tous les paramètres propres à un pixel x_0 donné, puis ceux des pixels voisins. Le premier paramètre est la valeur radiométrique. Celle du pixel x_0 doit approcher au mieux la nature de la route à détecter. Celle des pixels voisins à x_0 doit être différente de la première, de façon à nuancer au mieux les contours au voisinage du pixel courant x_0 . On choisira ensuite un certain nombre de directions d_k , et dans le cas d'espèce, nous avons pris quatre directions : Est-Ouest ; Nord-Sud ; Nord Est-Sud Ouest ; Sud Est-Nord Ouest. Le balayage se fait dans huit sens, c'est à dire d'une rotation de $22,5^\circ$ (Figure 2).

Nous choisissons ensuite N échantillons au voisinage de x_0 , puis nous calculons la moyenne radiométrique de cette population. Si n_1 est la moyenne radiométrique dans la zone 1, et n_2 celle de la zone 2, nous déterminons la différence radiométrique entre les deux zones. Si celle-ci est égale à zéro, ou a une valeur proche, on peut déduire qu'il existe un contour entre les zones 1 et 2. Par conséquent, le pixel x_0 est pris en compte, et on passe au pixel suivant. Il est cependant important de tenir compte de la largeur de la zone de test. Celle-ci doit être définie au préalable, ceci permet de détecter les formes linéaires dont l'emprise sera supérieure à la valeur du pixel. Par exemple, si nous avons des routes de 20 m ou plus. Seulement, elle doit être limitée pour éviter qu'on détecte autre chose que les routes, par exemple une plate forme.

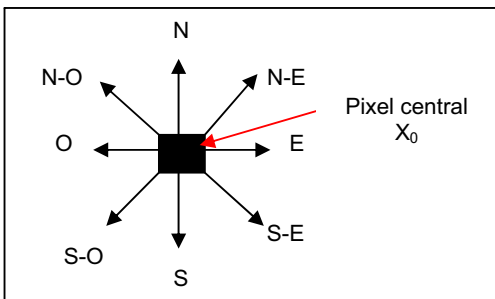


Figure 2. Détection des structures linéaires: Méthode de calcul du ratio par rapport au pixel central x_0

Toutefois, il faudrait rappeler que ce résultat pourra être nuancé par le fait que toutes les régions de la route ne présentent pas toujours le même niveau de gris, et que d'autres régions seront masquées par la végétation (les arbres longeant la route) ou par les maisons.

Après avoir testé différentes moyennes radiométriques des échantillons choisis (les intervalles considérés étant les suivants : niveau de gris de la route de 2 à 125 ; intervalle de la moyenne : de 0,01 à 0,1 c'est à dire de 1% à 10%), le meilleur résultat a été obtenu pour les valeurs de niveau de gris de la route comprises entre 10 et 100, tandis que celles de la moyenne varient entre 0,01 et 0,05.

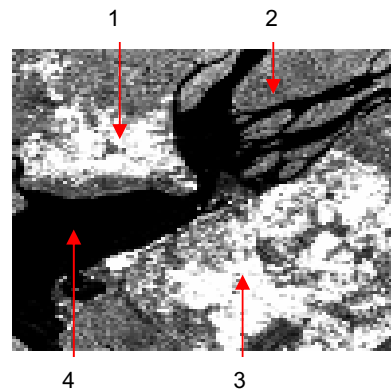


Figure 3. Image originale ERS 1 de la région de Douala 640 x 400

Légende

- 1 : Zone urbaine de Bonabéri
- 2 : Région mangrovière
- 3 : Zone urbaine de Douala
- 4 : Eau de mer

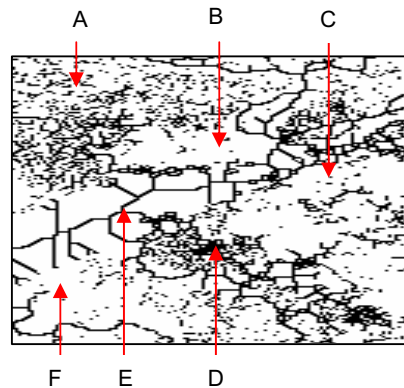


Figure 4. Squelette de l'image ERS 1 de la région de Douala 640 x 400

Légende

- A : Région mangroviennne
- B : Squelette de la zone urbaine de Bonabéri
- C : Squelette de la zone urbaine de Douala
- D : Versant des vagues
- E : Squelette de l'eau calme (sans vagues)
- F : Squelette de la région de la mer présentant de hautes vagues

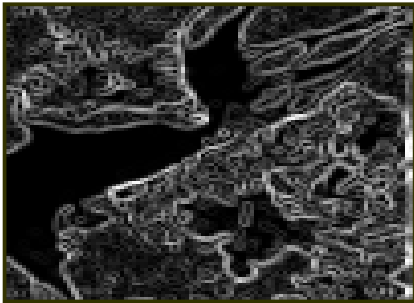


Figure 5. Image des contours de la région de Douala 640 x 400 après filtrage par le filtre FROST 5 x 5

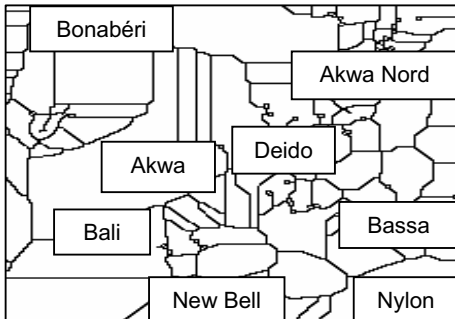


Figure 6. Squelette de Douala 640 x 400 représentant le réseau hydrographique et les grands axes



Figure 7. Plan des grands axes de la ville de Douala (Cameroun)
(Source : Institut National de Cartographie Yaoundé 1998)

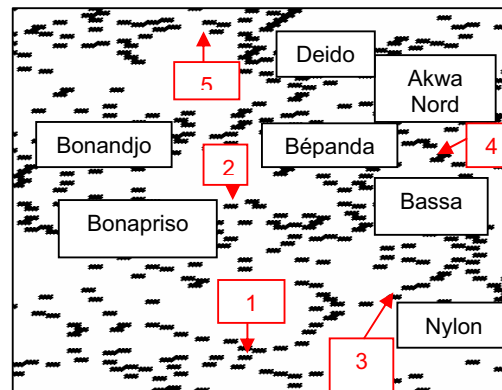


Figure 8. Zone urbaine de Douala, détection des structures linéaires : image des grands axes de Douala 640 x 400
 $10 \leq NG \leq 100$; $0,01 \leq \text{ratio} \leq 0,05$

Légende

- 1 : Axe lourd ou Nationale n°3 (1.211)
- 2 : Boulevard des Nations Unies (2.732)
- 3 : Boulevard urbain Nord – Sud
- 4 : Route Deido – Bassa
- 5 : Pont sur le Wouri

3. Discussion

La squelettisation de l'image RSO originale de Douala 640 x 400 (Figure 3), permet de réduire l'épaisseur de toutes les entités de la ville, à la dimension d'un pixel. Les entités de l'image sont amincies par le biais d'un élément structurant 3 x 3, jusqu'à ce qu'il y ait stabilité. Le masque L de l'alphabet de Golay [3] utilisé pour le calcul du

voisinage comme élément structurant, ressort une présence de fausses barbules très développée (Figure 4). Ces fausses barbules apparaissent beaucoup plus dans les régions du fleuve Wouri présentant de hautes vagues, de même que dans les régions mangroviennes. On remarque plus clairement l'aspect filiforme de l'eau calme (sans vagues). Le squelette des zones urbaines n'est pas décelable sur cette image. Les régions concernées donnent tout simplement des zones blanches.

Après filtrage de l'image originale de la région de Douala 640 x 400 par le filtre FROST 5x5, et détection des différents contours par le masque de Sobel bidirectionnel (Figure 5), l'application de l'opération de squelettisation annule les fausses barbules (Figure 6), et ressort à la fois le réseau routier de Douala (grands axes), le réseau hydrographique, et d'autres formes d'objets qui ne sont pas forcément des routes. D'autre part, on peut constater l'absence de certains axes qui auraient dû apparaître.

La méthode de détection des structures linéaires permet de bien distinguer l'eau, les objets de forme quelconques (pouvant être détectés par simple squelettisation), de la route. Le traitement ne tenant compte que des paramètres tels que : la largeur (qui doit être continue pour la route et quelconque pour l'eau), le matériau (la route est faite de minerai (bitume), tandis que l'eau ne l'est pas), et surtout des bords (la route est généralement bordée de maisons de part et d'autre, tandis que l'eau est bordée de végétation ou de sol nu). Le résultat de la Figure 8 ne ressort que les grands axes de Douala. L'analyse de ce résultat montre la corrélation qui existe entre la valeur du niveau de gris caractérisant la route, l'intervalle du rapport des contrastes de part et d'autre du pixel, et le détecteur de cette variation. Il en ressort que : plus l'intervalle de la moyenne est grand (dans un voisinage proche de zéro), mieux on obtient les détails des structures linéaires. Cette implication est également proportionnelle à la plage de niveaux de gris caractérisant la route, car, plus on rapproche la valeur réelle du niveau de gris du minerai, mieux on le détecte.

4. Conclusion

Les méthodes de classification appliquées dans cet article, mettent en évidence la complémentarité entre les méthodes de classification par morphologie mathématique et les autres méthodes de classification et de détection du réseau urbain. Cependant, bien que donnant des résultats beaucoup plus lisibles que la méthode par simple squelettisation, la méthode de détection des structures linéaires dans notre cas d'étude présente tout un handicap du fait de la discontinuité des structures. Il convient donc d'établir une relation

linéaire, entre les valeurs de niveau de gris caractérisant la route et celles du ratio, de manière à obtenir une approximation qui ressorte la structure de façon continue.

Les travaux présentés dans cet article se poursuivent dans une perspective d'approche combinatoire entre une poursuite par approximation des structures, et les méthodes de classification et de détection par morphologie mathématique.

Références :

- [1] Bonn, F., et G. Ronchon, *Précis de Télédétection, Vol. 1 : Principes et méthode*, Presses de l'université du Québec-AUPELF-UREF, Sainte-Foy, 1992.
- [2] J. S. Lee, et I. Jurkevich, "Speckle Filtering of Synthesis Aperture Radar Images: A Review", *Remote Sensing Review*, vol. 8, 1994, pp. 313 – 340.
- [3] Schmitt, M., et J. Mattioli, *Morphologie Mathématique*, Paris, Masson, 1993.
- [4] E. Tonye, A. Akono, A. Ndi Nyongui, et R. J. Assako Assako, "Extraction du réseau routier sur une image RSO de ERS-2 et sur une image HRV (XS) de SPOT par analyse de texture et morphologie mathématique: application à la ville de Yaoundé (Cameroun)", *La télédétection en francophonie : analyse critique et perspectives*, Edition AUF 2000, pp. 95-103.
- [5] F. Tupin, C. Gouinaud, H. Maitre, et J-P. Crettez, "Détection du réseau routier sur des images radar ERS 1", *Rapport Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications*, Paris, 1998.
- [6] C. Gouinaud, et H. Maître, "Critère de classification pour les images radar d'agglomération", *Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications*, Paris, 1998.