

**Julie VALLÉE**

Institut de Recherche pour le Développement (IRD),  
Vientiane<sup>1</sup>  
Université Paris X – Nanterre<sup>2</sup>  
valleej@yahoo.fr

**Florence FOURNET**

Université Paris X – Nanterre  
florence.fournet@ird.bf

**Pierre-Erwann MEYER**

Université Paris X – Nanterre  
Institut de Recherche pour le Développement (IRD),  
Ouagadougou<sup>3</sup>  
pierre.erwann.meyer@gmail.com

**Maud HARANG**

Université Paris X – Nanterre  
Institut de Recherche pour le Développement (IRD)  
maudharang@yahoo.fr

**Francoise PIROT**

Maison des Sciences de l'Homme  
CNRS-SIS-CEIAS-UMR 8564  
Centre de Compétence Thématique "Modélisation,  
Analyse spatiale, SIG"  
54, boulevard Raspail  
75006 Paris  
pirot@msh-paris.fr

**Gérard SALEM**

Institut de Recherche pour le Développement (IRD)  
Université Paris X – Nanterre  
gsalem@ext.jussieu.fr

# Stratification de la ville de Ouagadougou (Burkina Faso) à partir d'une image panchromatique Spot 5 : Une première étape à la mise en place d'une enquête de santé

---

<sup>1</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD),  
UR 178, BP 5992, Vientiane, Laos

<sup>2</sup> Université Paris X – Nanterre, Laboratoire Espace, Santé  
et Territoire, 200 avenue de la République, 92000 Nanterre.

<sup>3</sup> Institut de Recherche pour le Développement (IRD),  
UR 178, Centre de Ouagadougou 01,  
BP 182, Ouagadougou 01, Burkina Faso.

## INTRODUCTION

L'équipe de l'unité de recherche « Conditions et territoires d'émergence des maladies » de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) s'intéresse aux disparités spatiales de santé à Ouagadougou (Burkina Faso) en visant à les décrire et à les confronter aux caractéristiques de l'environnement urbain. Les villes sont en effet des ensembles hétérogènes et les conditions de vie des populations varient considérablement d'un sous-espace à un autre [Salem, Fournet, 2004]. Pour identifier les sous-espaces avec des niveaux d'urbanisation différenciés, nous réalisons une stratification spatiale de la ville de Ouagadougou. Cette stratification permettra de mener une enquête domiciliaire de santé auprès des populations résidant dans les différents types d'espaces urbains existants. Les informations du dernier recensement

burkinabè de 1996 ne peuvent pas être utilisées en 2004 pour une stratification car celles-ci sont peu précises spatialement, et datent au regard de la croissance rapide de la ville. La télédétection permet de produire cette information à jour [Yuan, Smith, Limp, 1997], exhaustive et précise sur l'espace urbanisé, l'agencement du bâti et le type d'occupation du sol. C'est une source d'information privilégiée, particulièrement pour les villes des pays du Tiers-Monde où les sources statistiques et cartographiques sont faibles [Dureau, Barbary, 1991], donnant une base de sondage et de stratification des villes [Barbary, 1988].

Nous décrivons dans cet article la méthode employée pour obtenir, à partir d'une image satellite panchromatique Spot 5, une stratification pertinente de la ville de Ouagadougou.

## LE SITE D'ÉTUDE

Ouagadougou est la capitale administrative du Burkina Faso. Elle concentre près d'1,2 million d'habitants en 2003 selon l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INSD), soit 40% de la population urbaine du pays.

Il faut distinguer à Ouagadougou les zones construites légalement (le loti) ou illégalement (le non loti). La progression du non loti est un réel problème dû principalement à la

spéculation foncière qui fait rage. Il existe également un jeu de pouvoir entre les acteurs modernes et traditionnels du foncier dans la régularisation de ces extensions.

Le site n'oppose aucune contrainte physique à la croissance spatiale de la ville : l'espace urbanisé (loti et non loti) a été multiplié au moins par 2,7 entre 1983 et 2003 tandis que la population était multipliée par 3,6 entre 1980 et 2001 (tableau 1).

**Tableau 1 : Croissance spatiale et démographique de Ouagadougou**

Année	Surface urbaine lotie en km <sup>2</sup>	Surface urbaine non lotie en km <sup>2</sup>	Taille de la population urbaine
1961	15,52	17,17	57 952
1972	28,95	ND	172 661
1983	36,84	45,25	282 000 en 1980
1993	124,53	46	709 736 en 1996
1998	151,60	ND	ND
2001	ND	ND	1 million (estimation)
2003	ND	70,04	1,2 million

ND : Non Déterminé

Le surcroît de croissance spatiale, notamment en non loti, entraîne un phénomène de distribution des populations vers les périphéries [Jaglin, 1995], ne permettant qu'une éléva-

tion modérée de la densité moyenne, malgré un accroissement démographique exponentiel. La densité moyenne de 57 hab./ha cache de nombreuses disparités intra-urbaines avec

de vieux quartiers centraux se densifiant et des poches urbaines relativement vides. Les valeurs de densités les plus fortes atteignent 860 hab./ha.

Cette urbanisation « extensive » peut avoir des conséquences sur la santé des popula-

tions. Elle crée sans doute des risques sanitaires différenciés et des facteurs d'exposition inégaux. Afin que l'enquête de santé puisse vérifier ces hypothèses, il est nécessaire de réaliser une stratification de la ville selon l'urbanisation.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Nous avons utilisé une image satellite SPOT 5 panchromatique (Programme ISIS ; Copyright CNES) d'une résolution de 2,5 mètres, enregistrée le 26 novembre 2002. Le mode panchromatique permet d'acquérir des données dans une seule bande spectrale (0,49-0,69  $\mu\text{m}$  pour SPOT 5) ce qui produit une image en noir et blanc. Ce type d'image est avant tout destiné aux applications nécessitant une grande précision. L'image SPOT a été analysée à l'aide du logiciel ERDAS®. Les densités du bâti ont été calculées avec le logiciel Arcview® qui a également permis de réaliser la stratification.

Nous avons également utilisé des données cadastrales fournies par la Direction Générale de l'Urbanisme (DGU).

### Mise en évidence du bâti

L'objectif premier est de localiser, à partir de l'image satellite panchromatique, les pixels « bâtis » et les pixels « non bâtis ». En raison de l'insuffisance de l'information radiométrique sur les images panchromatiques, il est courant d'avoir recours à l'information texturale pour l'extraction des zones de bâti [Coulombe, Charbonneau, Brochu, Morin, 1991 ; Weber, 2002]. Sur une image satellite, une zone urbaine se caractérise en effet par une texture très hétérogène et des radiométries variées. La détection des zones urbaines à partir des seules caractéristiques radiométriques d'une image panchromatique induit de nombreuses confusions. Pour différencier le bâti du non bâti, la mesure d'hétérogénéité spatiale est utile, en particulier lorsque seule une image panchromatique est disponible. En effet, les surfaces urbaines sont caractérisées par une grande fréquence spatiale qui exprime le changement de luminosité par rapport à une distance. Les photos-interprètes peuvent distinguer un espace

urbanisé du fait des brusques changements de contraste sur une courte distance dans l'image.

L'analyse texturale mesure la distribution des niveaux de gris (moyenne, variance, dissymétrie, aplatissement) ; elle tient compte du contexte et des pixels voisins, en combinant à l'analyse spectrale différentes méthodes d'évaluation de l'hétérogénéité spatiale. L'analyse texturale peut s'appuyer sur différents éléments mesurables dans l'image, comme la variance des valeurs radiométriques des pixels d'une fenêtre de dimension pré-établie. L'analyse texturale est une technique qui utilise une fenêtre mobile permettant de prendre en compte les pixels adjacents au pixel central de l'image. Une fenêtre de taille réduite est généralement utilisée pour déterminer les hautes fréquences spatiales. Sur chaque pixel est appliquée une fenêtre mobile, dont la taille est paramétrable. La nouvelle valeur du pixel central est donc le résultat de la variance calculée à partir des pixels contenus dans la fenêtre.

$$\text{Variance} = \frac{\sum (x_{ij} - M)^2}{n - 1}$$

avec  $x_{ij}$  = valeur radiométrique du pixel (i,j)  
n = nombre de pixels dans la fenêtre mobile (ici 9 pixels)

M = moyenne de la fenêtre mobile

Plus la fenêtre est grande, plus les pixels considérés comme voisins sont nombreux et plus, par conséquent, il est difficile de mettre en valeur les hautes fréquences spatiales. Pour une plus grande précision dans la localisation du bâti, une fenêtre de 3\*3 pixels a été choisie soit une fenêtre de 7,5 mètres de côté. Compte tenu de la taille moyenne des bâtiments, cette fenêtre paraît la plus appropriée.

L'image ainsi générée (carte 1) est codée par des valeurs entre 0 et 6160, la moyenne est de 14,1 et l'écart-type de 41. Les pixels codés par une valeur proche de 0 sont ceux dont la fréquence spatiale est la plus faible,

ceux qui ont donc une certaine homogénéité spatiale, du moins sur une surface de 56 m<sup>2</sup>. Cela correspond aux zones homogènes comme les retenues d'eau, les routes, la brousse...

Carte 1 : Carte de l'analyse texturale



Cette analyse texturale calcule la variance sur des fenêtres mobiles de 3 pixels et code les pixels par des valeurs comprises entre 0 (homogénéité) et 6160 (très forte hétérogénéité).

Pour localiser les pixels de l'espace bâti, il faut fixer un seuil de discrimination à partir duquel l'hétérogénéité spatiale est suffisamment grande pour être caractéristique du bâti [Bianchin, Bravin, 2003]. La détermination du seuil a été possible lors d'une mission de terrain effectuée à Ouagadougou en juin 2003. 96 points GPS ont été enregistrés dans des zones bâties et non bâties. Différents

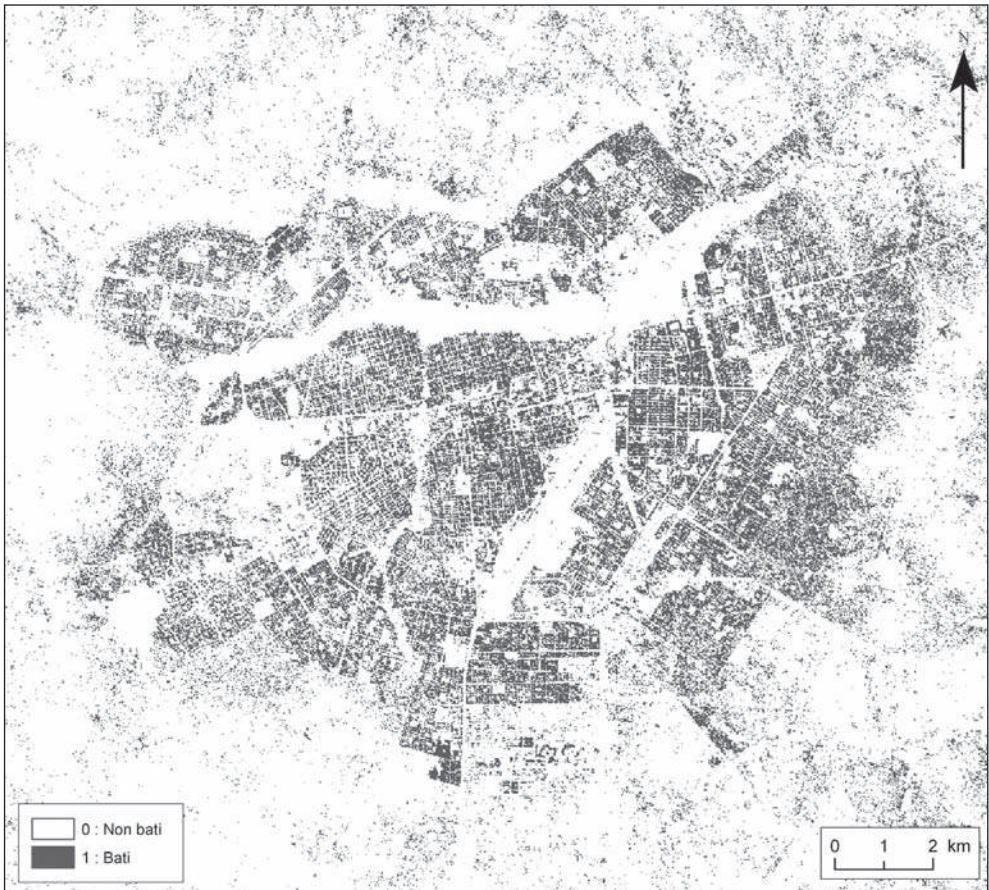
types de paysages urbains ont été pris en compte. En confrontant ces points GPS avec le résultat de l'analyse texturale, il a été possible de fixer la valeur du seuil. Les pixels codés par des valeurs supérieures à 20 sont des zones bâties. Nous avons quantifié le pourcentage d'erreur de notre classification binaire établie avec ce seuil. Sur les 52 points GPS pris sur des surfaces bâties, 43 sont effectivement codés comme du bâti dans la classification (soit 17 % d'erreur). Sur les 41 points pris dans du non bâti, 37 sont effectivement du non bâti sur la classification (soit 12% d'erreur). Ce pourcentage d'erreur, non

négligeable, s'explique essentiellement par l'imprécision du GPS (environ 10 m), qui est importante par rapport à la résolution spatiale (2,5 m) de l'image satellite. De plus, il était difficile, pour des raisons pratiques, de prendre des points au centre d'un bâtiment. Le pourcentage d'erreur est cependant plus important dans la classe du bâti : la définition du bâti se heurte en effet à un problème d'échelle. À partir de quelle superficie au sol et de quel volume, un objet est-il considéré

comme bâti ? Un mur doit-il être considéré comme du bâti ? Une maison sans toit doit-elle être incluse dans la classe bâtie ?

À partir de la carte du bâti (carte 2), il est possible de définir l'espace urbanisé, d'étudier le type de lotissement, de distinguer les zones plus ou moins densément bâties et d'établir alors la stratification indispensable pour procéder à la définition de l'échantillon de population à enquêter. Les pixels de bâti sont codés par la valeur 1, les pixels de non bâti par 0.

Carte 2 : Carte du bâti à Ouagadougou en 2002



### Unités spatiales

Il ne s'agit pas de classifier des pixels mais des quartiers. La difficulté est de choisir quel maillage de l'espace (bâtiment, parcelle, îlot ou quartier) doit être adopté pour stratifier la ville [Michel, Lortic, 1992]. Ce choix est étroitement lié à la résolution spatiale de l'image satellite utilisée. Il est nécessaire de définir des entités assez larges pour regrouper

un nombre de pixels suffisant mais assez fines pour que l'agrégation de l'information de départ ne subisse pas trop d'altération. Par ailleurs, il importe que l'entité spatiale choisie corresponde à une certaine réalité dans le paysage urbain. Une maille régulière qui ne tiendrait pas compte des infrastructures tels que l'aéroport, les barrages n'est pas adaptée. Nous avons décidé d'utiliser les

« sections », une unité du découpage administratif (créée par le ministère des Finances), qui respecte la morphologie urbaine et qui permet d'effectuer une typologie de Ouagadougou à une échelle satisfaisante.

### **Deux critères de stratification : loti/non loti et densité du bâti**

Pour établir, avec une image satellite, une stratification représentative des situations écologiques de la ville de Ouagadougou, le premier des critères est le type de lotissement. Le critère de lotissement a déjà été présenté comme un facteur de risque dans d'une enquête entomologique, sur le paludisme, menée à Ouagadougou [Sabatinelli, Laminaza, 1989]. La ville lotie se caractérise, par un réseau de rues hiérarchisées, des infrastructures de base comme l'électricité, les bornes fontaines, des limites nettes de ses îlots, des quartiers à l'aspect géométrique. Dans les zones non loties, seules des portions de routes peuvent être repérées sur l'image satellite, traversant plus que desservant les quartiers qui apparaissent sans organisation spatiale interne. Cette information sur le type de loti est donc bien visible sur l'image satellite. La densité du bâti est le second critère de stratification, qui permet d'appréhender les

processus d'urbanisation et qui peut jouer un rôle épidémiologique en particulier pour les maladies transmissibles. La densité du bâti d'une section est obtenue en divisant la surface bâtie de la section par sa surface totale. Une fois multipliée par 100, cette valeur correspond donc à la proportion de surface bâtie dans chaque section.

Nous avons divisé cette information de densité en trois classes afin d'exclure les sections qui sont très faiblement bâties comme l'aéroport, les barrages, les réserves foncières et de distinguer les sections densément et très densément bâties. Le premier seuil doit permettre d'exclure les sections qui ont une densité trop faible pour être prises en compte dans l'échantillonnage. Le second seuil doit mettre en valeur les sections avec des fortes densités de bâti. La méthode de discrétisation doit tenir compte de la forme de la distribution statistique. La méthode des seuils naturels permet de repérer les discontinuités les plus importantes dans la distribution. Elle est particulièrement préconisée pour les distributions plurimodales [Rican, 1998]. Cette méthode n'entraîne pas de déséquilibres dans les effectifs de chaque classe qui sont respectivement de 223, 188 et 254.

---

## **RÉSULTATS DE LA STRATIFICATION**

Sur la carte finale (carte 3), la ville de Ouagadougou est divisée en 665 sections qui prennent en compte la ville lotie (410 sections) et non lotie (255 sections) et trois degrés de densité de bâti. Les sections faiblement bâties où il sera difficile de trouver des ménages à enquêter peuvent être exclues de l'enquête sanitaire, notamment l'aéroport, les camps militaires, les barrages, l'espace vert du bois de Boulogne, et le grand chantier « Ouaga 2000 ». Il reste finalement 441 sections susceptibles d'être choisies dont 338 dans le loti.

Les zones loties et denses se situent au centre de la ville, à l'est et au sud. Les sections non loties encerclent, logiquement, la ville lotie, cependant certaines directions sont privilégiées. Ainsi le non loti connaît une plus

grande expansion à l'est et au sud-ouest de la ville. Au nord de la ville, la ceinture verte semble freiner le développement du non loti qui est repoussé au-delà de la zone cultivée. Au sud, l'aménagement de « Ouaga 2000 » prévu et géré par les autorités, n'est pas propice au développement de quartiers irréguliers. Le non loti se développe en fait essentiellement aux abords du loti dense.

Les sections de non loti avec une densité de bâti importante se concentrent à l'est de la ville. La seconde zone de non loti densément bâtie, au nord-est, est beaucoup plus réduite ; elle est bloquée entre la zone industrielle à l'est, la ville lotie à l'ouest, la forêt au sud et la ceinture verte au nord. Au sud-ouest de la ville, le non loti, moins dense, s'étale sans direction privilégiée.

Carte 3 : Carte de la stratification finale



## DISCUSSIONS

### Comment caractériser le niveau d'urbanisation ?

Les deux critères que sont le type de lotissement et la densité du bâti ne prétendent pas décrire, à eux seuls, le niveau d'urbanisation ; ils permettent seulement de stratifier la ville afin d'obtenir un plan d'échantillonnage qui assure une certaine représentativité spatiale et urbaine. Des informations concernant l'urbanisation, autres que la densité du bâti et le type de lotissement, sont recueillies lors de l'enquête sanitaire (type de construction, présence de végétation, accès à l'eau...) et permettent d'obtenir des données au niveau individuel et collectif. Elles seront croisées par différentes analyses pour comprendre justement leur implication dans l'état de santé d'une population.

### La corrélation entre la densité de population et la densité du bâti

Pour mener à bien l'enquête épidémiologique, il aurait été utile de connaître la population dans chaque section. Les données du recensement de 1996 sont disponibles mais à l'échelle des zones de dénombrement, une unité administrative plus grande que les sections et qui ne prend que partiellement en compte le non loti. Elles ne sont donc pas utilisables.

Nous avons cependant voulu tester la corrélation, à l'échelle des zones de dénombrement, entre la densité du bâti et la densité de la population, afin de pouvoir évaluer la population de chaque section. Certaines études ont en effet utilisé, avec succès, les images satellites pour estimer la population à partir

de la densité du bâti, en particulier pour les zones résidentielles [Yuan, Smith, Limp, 1997 ; Faure, Tran, Gardel, Polidori, 2003].

Notre résultat est décevant, aucune corrélation ne semble exister entre la densité de bâti et la densité de population ; le coefficient de corrélation est de 0,13. Cette mauvaise corrélation peut toutefois s'expliquer par le décalage temporel qui existe entre les données démographiques (1996) et les données du bâti, issues de l'image satellite de 2002. Elle peut surtout s'expliquer par le fait que le bâti n'est pas uniquement à vocation résidentielle mais également à vocation administrative ou industrielle, commerciale, ce qui peut interférer dans la corrélation.

### L'hétérogénéité des sections

Au sein d'une section, les densités du bâti peuvent être hétérogènes ; une réserve foncière et une zone très densément bâtie peuvent appartenir à la même section dont la valeur de densité se trouve ainsi « moyennée ». Pour réduire l'hétérogénéité, il aurait pu être pertinent d'utiliser, au lieu des sections, un zonage issu directement de l'image satellite.

Il faudrait alors créer un zonage spécifique de telle sorte que (i) les zones soient homogènes (par rapport au bâti), (ii) qu'elles empruntent des frontières naturelles ou artificielles de façon à ne pas couper les îlots et (iii) que la taille des zones soient similaires. Ces exigences sont très difficiles à concilier.

### Pertinence de la méthode en zone peu urbanisée

La classification bâti/non bâti établie grâce à l'analyse texturale est peu pertinente en dehors de la zone urbanisée. Nous avons constaté que les zones de brousse arbustive, à l'extérieur de la ville, se composent d'objets aux radiométries bien contrastées. Il est donc difficile de distinguer, avec ce type d'analyse et dans ce type de paysage, une maison d'un arbre. Les risques de confusions sont assez nombreux pour que l'analyse texturale d'une image panchromatique soit souvent associée à des classifications menées sur des images multispectrales pour préciser la localisation du bâti [Bianchin, Bravin, 2003 ; Chopin, Mering, 2003].

---

## CONCLUSION

À partir d'une seule image satellitaire panchromatique et d'une analyse de texture, il a été possible de localiser le bâti, d'étudier son agencement et de réaliser une stratification respectueuse des différents processus d'urbanisation à Ouagadougou. L'enquête

domiciliaire peut alors être menée auprès d'un échantillon de populations qui résident dans différents types d'espaces urbains afin de confronter les éventuelles disparités de santé aux caractères de l'environnement urbain.

---

## BIBLIOGRAPHIE

BARBARY O. (1988), Sondages aérolaires pour l'estimation de données démographiques en milieu urbain. Essai de définition d'une méthode de collecte intégrant l'information satellitaire, application aux villes des pays en développement, Paris, École en Hautes Études en Sciences Sociales, Thèse de Doctorat, 641 p.

BIANCHIN A., BRAVIN L. (2003), « Reproductibilité des procédures d'analyse de l'espace urbain à différentes échelles », Colloque *Pixels et cités*, Société Française de Télédétection et de Photogrammétrie, Marne-la-Vallée, 26-28 nov. 2003.

COULOMBE A., CHARBONNEAU L., BROCHU R., MORIN D. (1991), L'apport de l'analyse texturale dans la définition de l'utilisation du sol en milieu urbain, *Journal Canadien de Télédétection*, vol 17, n°1, pp. 46-55.

DUREAU F., BARBARY O. (1991), « L'enquête par sondage sur l'image satellite : une solution pour améliorer l'observation des populations citadines », in *La qualité de l'information dans les enquêtes*, Association pour la Statistique et ses Utilisations, Dunod, pp. 365-397.

FAURE J.-F., TRAN A., GARDEL A., POLIDORI L. (2003), « Élaboration d'un indice de densité de population et analyse de sa distribution spatiale à Belém (Brésil) et Cayenne (Guyane française) », Colloque *Pixels et cités*, Société Française de Télédétection et de Photogrammétrie, Marne-la-Vallée, 26-28 nov. 2003.

JAGLIN S. (1995), *Gestion urbaine partagée à Ouagadougou : pouvoirs et périphéries (1983-1991)*, Paris, Karthala/IRD, 659 p.

- MICHEL A., LORTIC B. (1992), Typologies urbaines et télédétection satellitaire. La notion des zones en milieu urbain, *L'espace géographique*, n° 2, pp. 167-178.
- RICAN S. (1998), La cartographie des données épidémiologiques - les principales méthodes de discrétisation et leur importance dans la représentation cartographique, *Cahiers Santé*, n° 8, pp. 461-470.
- SABATINELLI G., LAMIZANA L. (1989), « Le paludisme dans la ville de Ouagadougou (Burkina Faso) », in *Urbanisation et Santé dans le Tiers Monde*, ORSTOM éditions, pp. 187-193.
- SALEM G., FOURNET F. (2004), Villes africaines et santé : repères et enjeux, *Bulletin de la société de pathologie exotique*, vol. 96, n° 3, pp. 145-149.
- WEBER C. (2002), *Images satellites et milieu urbain*, Hermes éditions, collection géomatique, 185 p.
- YUAN Y., SMITH R.M., LIMP F. (1997), Remodeling census population with spatial information from Landsat TM imagery, *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 21, n° 3-4, pp. 245-258.
- CHOPIN F., MERING C. (2003), « Cartographie de la densité du bâti et des différents types de morphologie urbaine par analyse granulométrique des images à haute et très haute résolution », Colloque *Pixels et cités*, Société Française de Télédétection et de Photogrammétrie, Marne-la-Vallée, 26-28 nov. 2003.
-