Télédétection, 2003, vol. 3, n° 2-3-4, p. 229–236
Droit de photocopie soumis à l'autorisation

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

ÉVOLUTION DE L'ESPACE URBAIN DE YAOUNDÉ, AU CAMEROUN, ENTRE 1973 ET 1988 PAR TÉLÉDÉTECTION

REMY SIETCHIPING

School of Anthropology
Geography and Environmental Studies
The University of Melbourne
Victoria 3010, Australie
Téléphone : (613) 8344 4792 ; télécopieur : (613) 8344 4972
Courriel : r.sietchiping@pgrad.unimelb.edu.au

(soumis le 21 février 2002 ; révisé le 21 mai 2002 ; accepté le 5 août 2002)

L'approche de détection des changements aide à mieux évaluer les mutations socio-spatiales qui surviennent sur un territoire. Pour ce faire, les images satellitaires multidates constituent une excellente source d'information. Toutefois, elles demeurent insuffisamment exploitées pour quantifier la dynamique urbaine dans les villes à croissance rapide. L'objectif de cet article est d'utiliser les images des capteurs des satellites Landsat pour déterminer la taille et la tendance de la dynamique urbaine de Yaoundé (Cameroun). Une image MSS et une image TM de Landsat, acquises respectivement en 1973 et en 1988 sont utilisées en vue de quantifier l'espace urbanisé et de suivre l'évolution du périurbain. La méthodologie consiste à utiliser la technique de détection des changements et l'analyse de texture afin d'établir les cartes des espaces urbanisés et non urbanisés pour les années 1973 et 1988, ainsi que la méthode de fusion pour extraire les éléments de croissance urbaine. Les résultats de cette étude montrent clairement, qu'entre 1973 et 1988, la ville de Yaoundé s'est étendue à un taux moyen de 8,1 % par an, contrairement au chiffre de 3,6 % indiqué par les Recensements Généraux de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 1976 et 1987. Cette étude montre aussi que la surface urbanisée de Yaoundé représente 12 848 ha en 1988, contre 3 975 ha en 1973. Il ressort de cette recherche que l'extension spatiale de Yaoundé a été sous-estimée par les RGPH de 1976 et 1987. Par rapport aux applications urbaines de l'imagerie satellitaire, cette étude démontre que la détection des changements, l'analyse de texture et la fusion sont de techniques pertinentes pour délimiter, localiser et quantifier l'évolution et l'extension urbaines. Ces techniques de traitement d'images facilitent l'acquisition des données utiles à l'appréciation de l'expansion spatiale.

Mots-clefs : Yaoundé ; télédétection des changements ; traitement d'images ; dynamique urbaine et périurbaine.

URBAN EVOLUTION OF YAOUNDÉ (CAMEROON) BETWEEN 1973 AND 1988 BY REMOTE SENSING

Change detection approach helps to better understand socio-spatial mutations that arise in an area. In such, evaluate urban changes can assist is assessing temporal and spatial urbanization processes. In that sense, multitemporal remote sensing images represent a good data source. Yet, they are less used to quantify urban dynamics in rapid growing cities. The aim of this paper is to find out the size and trend of urban dynamics in Yaoundé (Cameroon) using Landsat images. Two Landsat images (MSS and TM), acquired in 1973 and 1988, were used to define, locate, quantify and monitor urban changes. The methodology involves the use of change detection technique, texturing analysis to isolate urban and non urban areas for 1973 and 1988, and the merging approach to depict urban growth patterns. The results of this study clearly demonstrate that between 1973 and 1988, urban area in Yaoundé has expanded at an average of 8,1 % per year compared to 3,6 % pa obtained from the General Population and Habitat Census (GPHC) of 1976 and 1987. This study also evaluates the urbanised area of Yaoundé at 12 848 ha in 1988, and 3 975 ha in 1973. It derives from this study that the spatial annual growth of Yaoundé has been under-estimated by the General census of 1976 and 1987. In relation to urban remote sensing applications, the results suggest that changes detection techniques, texturing analysis and merging are efficient approaches to appraise, localise and quantify urban growth. This processing facilitates the acquisition of reliable data source to assess spatial urban growth.

Keywords : Yaoundé, changes detection, images processing, urban and periurban dynamics.

1. INTRODUCTION

Selon les Nations-Unies (1997), la croissance annuelle de la population en Afrique est la plus élevée dans le monde, soit 2,4 %. À ce rythme, 55 % de la population mondiale vivra en Afrique d'ici l'an 2050 contre 22 % en 1998. Mieux encore, 95 % de cette croissance s'opère dans les villes. Par conséquent, l'assiette urbaine connaît des transformations spatiales rapides. Yaoundé, comme les autres villes d'Afrique subtropicale, se densifie et s'étale sur l'espace périurbain. Cependant, les chercheurs (Cogneau et Roubaud, 1997 ; Tonyé *et al.* 2000) et les autorités de Yaoundé ne s'accordent pas toujours sur les chiffres de la croissance et de l'emprise spatiale ainsi que du périmètre de

Yaoundé. Afin de contribuer à ce débat, les images satellitaires sont utilisées pour délimiter, localiser et quantifier l'évolution spatio-temporelle de la ville de Yaoundé.

En effet, depuis le lancement des missions Landsat dans les années 1970, la caractérisation et la classification de l'espace urbain ont connu un intérêt croissant (Gordon, 1980 ; Jensen and Toll, 1982 ; Moller-Jensen, 1990). La disponibilité de l'imagerie de résolution de plus en plus fine, ainsi que la possibilité de fusionner les données provenant de capteurs différents, permettent désormais d'accéder à des niveaux de détails élevés facilitant des analyses croisées sur le milieu urbain. Les études de la dynamique urbaine ont également bénéficié du développement technologique (Mouat *et al.*, 1993 ; Lillesand and Kiefer, 2000), permettant des analyses à grande échelle. Une des applications des images satellitaires est le suivi des changements sur un espace donné, utilisant l'approche de détection des changements.

Deux modes de détection des changements sont couramment utilisés. Le premier consiste à comparer visuellement les images après les avoir classifiées afin d'identifier les changements intervenus, soit par thème, soit par pourcentage. Avec le deuxième procédé, on identifie et on quantifie automatiquement les différents types de modifications sur des images classées préalablement par thèmes. L'opération procède soit aux croisements de matrices de classes de pixels (pour les changements thématiques), soit à l'assemblage des pixels ayant les mêmes signatures jusqu'à un certain pourcentage et de classifier de nouveau les pixels en fonction des taux de changements préalablement définis. Cette dernière méthode est appliquée sur deux images de Yaoundé pour estimer le taux d'expansion spatiale et la superficie urbanisée entre 1973 et 1988, utilisant un algorithme de texture qui distingue la tache urbaine de l'espace non urbain.

Dans le contexte de cette étude, l'expression tache urbaine est définie comme espace de concentration des pixels dans la zone urbanisée. L'opération détection des changements sélectionne donc les pixels qui n 'étaient pas urbanisés en 1973 et qui présentent un niveau de brillance de plus de 10 % entre 1973 et 1988. L'expansion urbaine est exprimée par les pixels non urbains ayant connu des changements (plus de 10 %) entre 1973 et 1988. Les pixels identifiés comme urbanisés en 1973 et 1988 préservent leur statut.

Dans la première partie de cette étude, on décrit brièvement le cadre d'étude alors que, dans la deuxième partie, on présente les images utilisées. La troisième partie porte sur la méthodologie employée et la quatrième partie sur les résultats.

2. CADRE D'ÉTUDE

Depuis les années 1950, la population et la superficie de Yaoundé (figure 1), la capitale politique du Cameroun en Afrique tropicale, connaissent une croissance soutenue. Démographiquement, Yaoundé est passée de 59 000 habitants en 1956 à 300 000 en 1976, et à environ 1,8 millions en l'an 2000 (Franqueville, 1984 ; MINPAT, 1993). Le taux de croissance annuelle de la population de Yaoundé demeure l'un des plus forts de l'Afrique, soit au-delà de 9 % avant 1980 et environ 7,5 % entre 1980 et 1990. Depuis lors, il oscillerait entre 6,5 % et 7,5 % (MINUH,1990). Par conséquent, l'espace urbain serait passé de 1 500 ha en 1956 à 5 300 en 1980 et à environ 14 000 ha en l'an 2000 (MINUH,1990). Yaoundé a un relief parsemé de collines (jusqu'à 1 200 m d'altitude) avec des pentes parfois abruptes, notamment vers le nord-ouest de la ville. Les secteurs sud et est de la ville ont un relief plus monotone (700 m d'altitude en moyenne). Il est intéressant de noter que le relief de la ville ne constitue pas une contrainte à son urbanisation (Santoir et Bopda, 1995). Ainsi, les espaces « inconstructibles », pentus (plus de 30 %) et marécageux sont densément bâtis (Assako Assako, 1998). Ces espaces à risques sont des lieux de prédilection des établissements de l'habitat informel à Yaoundé souvent appelée « ville aux sept collines ». Dans cette étude, on veut mesurer l'étalement de Yaoundé sur cet espace à paysage variable entre 1973 et 1988 à partir des images des capteurs des satellites Landsat.

3. DESCRIPTION DES IMAGES UTILISÉES

Une image MSS de 1973 et une image TM de 1988, ont été acquises aux archives de l'USGS, *EROS Data Center* (2000). Le choix des dates était orienté par la disponibilité, la qualité et le coût des images ainsi que, surtout, le souci de correspondance des dates d'acquisition avec les périodes concernées par les deux estimations effectuées officiellement lors des RGPH de 1976 et de 1987. Toutefois, le choix des images a été considérablement limité par le taux élevé de la couverture nuageuse (généralement plus de 30 %). Bien plus, les images prétraitées et récentes étaient également plus chères (600 $US pour une image complète). Tout ceci a contraint à sélectionner deux images qui ne coïncidaient pas exactement avec les années exactes des RGPH. Les deux images présentaient les caractéristiques résumées au tableau 1.

TABLEAU 1 Caractéristiques des images MSS et TM de Landsat. *Characteristics of Landsat (MSS and TM) images.*

	MMS de Landsat-1	TM de Landsat-4
Campagne	NOAA/NASA	NOAA/NASA
Date d'acquisition	14 novembre 1973	30 mars 1988
Nombre de bandes	4	7
Couverture nuageuse	< 20 %	< 30 % (*cf.* note)
Résolution	80 m	30 m
Élévation solaire	52'	55'
Azimut solaire	127'	90'

(note : la ville de Yaoundé était moins affectée par les nuages)

4. MÉTHODOLOGIE

Le prétraitement des images a d'abord consisté à afficher les différentes bandes disponibles utilisant les informations contenues dans le fichier entête de l'image sous le format BSQ (*Band Sequential*). Ces fichiers ont été préalablement préparés lors de l'extraction du contenu de la cassette et leur transfert sur des supports CD. Ensuite, il fallait enregistrer et corriger la radiométrie et la géométrie des différentes images. Toutefois, l'espace urbain a été mis en exergue en produisant une image composite de 1988 obtenue en combinant les canaux 4, 3 et 2 respectivement en rouge, vert et bleu. L'image composite de 1973 a été obtenue en combinant les canaux 4, 2 et 1 respectivement en rouge, vert et bleu. Cette combinaison différencie bien l'espace urbain et l'espace non urbain (végétation).

Les images ont été projetées utilisant *Universal Transverse Mercator* (UTM) de la zone 33 au nord de l'équateur. La résolution spatiale de l'image MSS (80 m) a été ramenée à 30 m en utilisant la technique de convolution cubique, puis enregistrée de nouveau en prenant les points de contrôle sur l'image TM (30 m de résolution). L'opération a produit une erreur moyenne de calibrage (*Root Mean Square Error*) de 0,258, ce qui est acceptable (Moller-Jensen, 1990). Afin de réduire le volume des images (56 méga octets chacune pour les images TM et 36 méga octets pour les images MSS) et extraire la zone d'étude couvrant Yaoundé et ses environs, les images ont été découpées sur la base des coordonnées géographiques assignées.

Le filtre passe-bas a été appliqué sur toutes les images pour réduire les bruits du chatoiement, en prévision de l'analyse de texture.

4.1. Analyse de texture

L'analyse de texture avait pour objectif d'améliorer la précision de la classification. L'indice de brillance et l'indice de végétation normalisée (NDVI) ont été utilisés pour produire deux images de texture. La première est obtenue en appliquant les deux indices dans une fenêtre 3 × 3 et la variance des neuf pixels combinée est transférée au pixel central. Une nouvelle valeur de brillance est de nouveau affectée à chaque pixel pour enfin produire une carte qui isole les pixels urbains. Sur la figure 2, on montre le cas de l'image de 1973.



Source : http://africa-onweb.com/pays/cameroun/cameroun3.htm (Visité le 16-06-2002)

FIGURE 1 Localisation de Yaoundé au Cameroun. *Location of Yaoundé in Cameroon.*

La deuxième image (figure 3), produite par l'analyse de texture, est aussi issue de la même fenêtre (3 × 3) qui « balaie » systématiquement l'image et transfère le pourcentage de variance des pixels au groupe de pixels (ou super pixels).

La valeur des nouveaux pixels est alors calculée en fonction du pourcentage des valeurs de brillance et de végétation des pixels regroupés (Moller-Jensen, 1990). Ce pourcentage est enfin comparé au seuil de 10 % préalablement établi. Ensuite, l'image composite de 1973 obtenue pour la zone urbaine a été classifiée de nouveau par densité d'occupation du sol urbain. Sur la figure 3, on montre le résultat de la classification du site urbain de la ville de Yaoundé. La même procédure de classification et de filtrage a été appliquée à l'image de 1988 pour obtenir une image de pixels urbains et non urbains ainsi qu'une carte des densités (figure 4).

La nouvelle image classifiée de 1973 a été par la suite fusionnée avec celle de 1988. Au cours de cette opération, l'image de 1973 est utilisée comme masque des pixels qui sont devenus urbains entre 1973 et 1988.

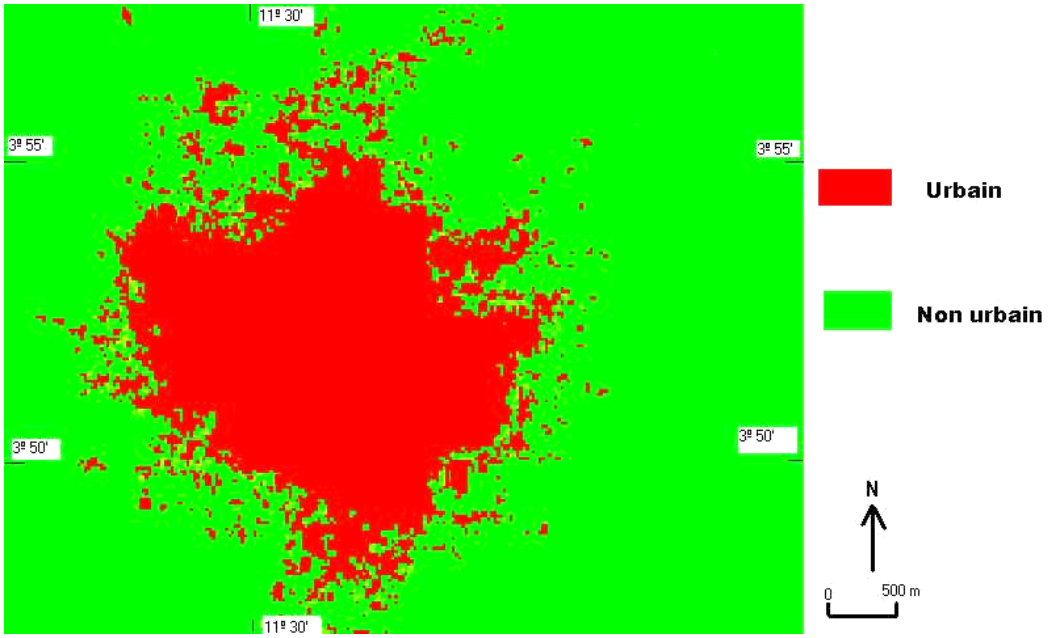


FIGURE 2 Zone urbaine de Yaoundé en 1973. *Yaoundé urban area in 1973.*

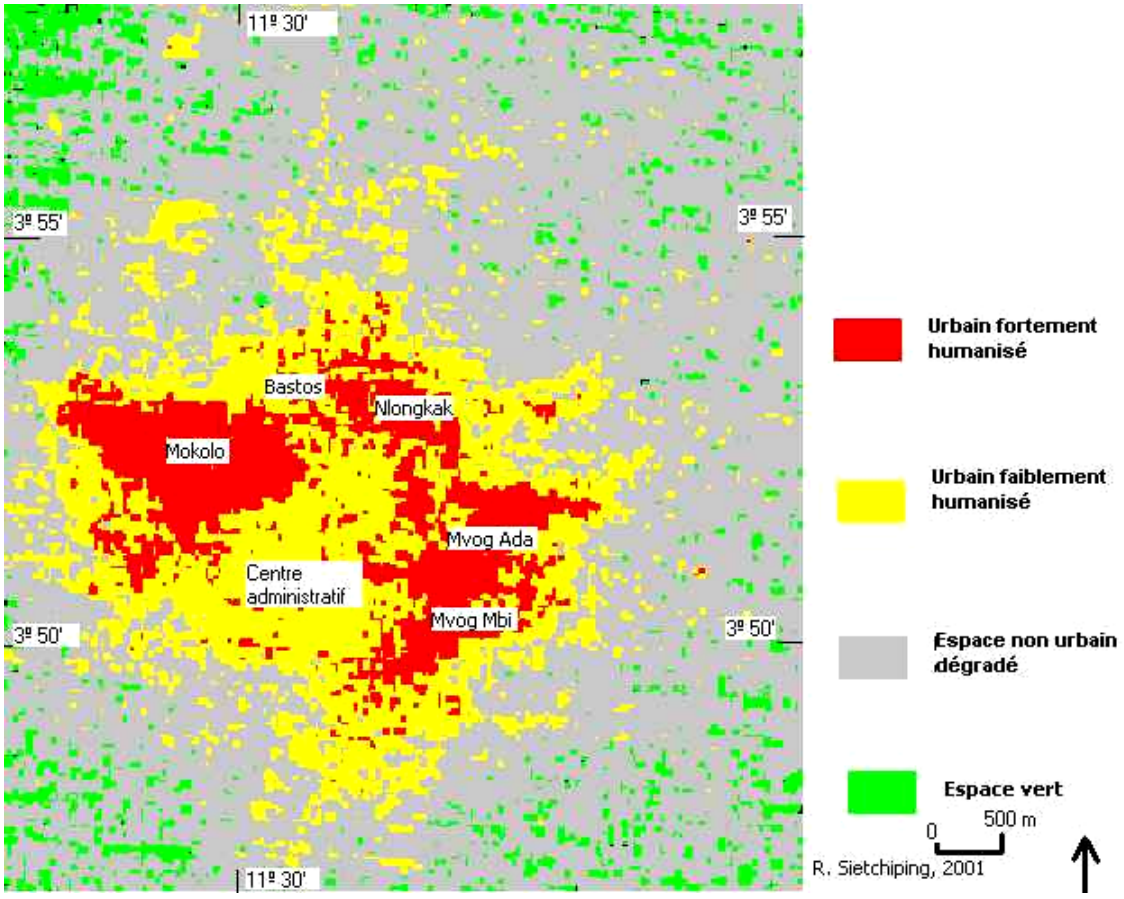


FIGURE 3 Densité de l'occupation du site de Yaoundé en 1973. *Density of land use in Yaoundé, 1973.*

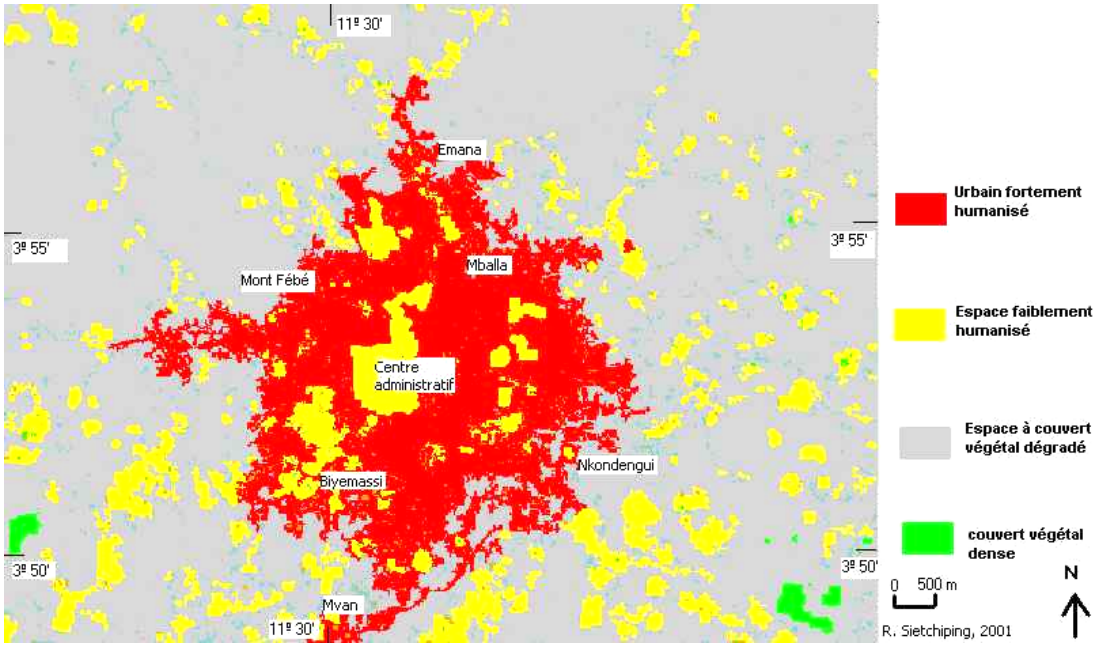


FIGURE 4 Densité de l'occupation du site de Yaoundé en 1988. *Density of land use in Yaoundé, 1988*

L'opération de détection de changement a été ensuite menée sur la base de ces deux nouvelles images classifiées en pixels urbains et non urbains. L'algorithme regroupe dans une fenêtre 3 × 3, tous les pixels ou groupe de pixels dont le seuil de vraisemblance est supérieur ou égal a 10 %. Par contre, tous les pixels dont le seuil est inférieur ou égal à 10 % sont c lassés comme non urbains. Bien que le seuil de 10 % soit suggéré pour une région ayant la taille de Yaoundé et pour une période d'analyse de 15 ans (Jensen, 1996 ; Yeh and Li, 2001), nous avons entrepris plusieurs tentatives utilisant différents taux (40, 30, 20, 15, 10 et 5) et en comparant les résultats avec les images originales. Après ces essais, le taux de 10 % a été retenu parce qu'il s'est avéré plus effectif dans le discernement des deux classes (urbain et non urbain).

4.2. Surface urbanisée

L'image de 1973 a été considérée comme image de base et l'image de 1988 considérée comme image finale. Les pixels « urbanisés » en 1973 sont sélectionnés et fusionnés avec l'image de 1988 en appliquant la procédure de masque. Le masque est ensuite appliqué aux groupes de pixels de l'image 1988 initialement identifiés comme urbanisés pour faire ressortir 15 ans de croissance urbaine de Yaoundé. L'algorithme a identifié 107 865 pixels qui se sont « urbanisés » entre 1973 et 1988, soit un taux d'urbanisation de 8,1 %.

5. ÉVALUATION DES RÉSULTATS

La comparaison visuelle des changements (Tonyé *et al.*, 2000) limite leur appréciation réelle et incite aux erreurs de jugement. C'est pourquoi, en plus de la méthode visuelle, dans cette étude, on a vérifié la pertinence des changements en utilisant deux autres approches : l'évaluation automatique de précision et la comparaison des polygones urbains, respectivement en 1973 et 1988.

5.1. Évaluation automatique de la précision

L'évaluation automatique de la précision a été réalisée sur la base d'un échantillon de 100 points témoins aléatoirement répartis sur l'aire cartographiée. Les points ont été sélectionnés sur une carte de l'évolution de l'espace urbanisé de Yaoundé préalablement établie (Sietchiping, 2001). Bien que le taux de précision total de 92 % soit satisfaisant pour une procédure automatique (Ward and Murray, 2000) il est important d'identifier et de corriger la disparité et les erreurs de classification. La matrice de confusion est nécessaire car l'image de 1973 doit servir de base à l'évaluation de l'expansion spatiale entre 1973 et 1988. La matrice de confusion (tableau 2) a permis d'apprécier la précision et d'améliorer la classification. La matrice de confusion produit deux types d'erreurs : l'erreur d'omission, qui attribue les points de référence d'une classe à une autre classe, et l'erreur de commission, où les points de référence d'une classe sont attribués à une autre classe par erreur.

TABLEAU 2 Évaluation de précision (1973 et 1988). *Precision assessment (1973 and 1988).*

	Classification					
	Urbain	Non urbain	Total lignes	Erreur de commission	Erreur d'omission	Précision totale
Urbain	7	2	9	22,2 %	77,8 %	92 %
Non Urbain	6	85	91	6,6 %	93,4 %	
Total colonnes	13	87	100			

Dans le cas de la classification menée sur les images de Yaoundé, ces erreurs peuvent être attribuées, entre autres, aux reliques d'espaces verts dans la ville, aux zones humides ou hydromorphes et aux sols nus (Assako Assako et Tonyé, 2000). Ces erreurs ont été identifiées et rectifiées. Par exemple, les taches nuageuses au sud de l'image de 1988 ont été initialement classées comme « urbanisées ». Dans la version manuellement éditée, ces erreurs de commission ont été corrigées. Après la correction de ces erreurs, la texture des deux images issues de la classification peut donc être analysée pour déterminer l'ampleur des changements.

Sur l'image classifiée (figure 2), 9 points aléatoires coïncident avec les pixels urbanisés, alors que 91 points correspondent aux zones non urbanisées. Sur les 9 points classifiés comme urbains, 7 étaient urbanisés à cette période. Par ailleurs, 7 points sont identifiés dans la zone urbanisée (par exemple habitations dans le secteur de Biyemassi au sud-ouest de Yaoundé) pendant la période 1973 et 1988. Sur les 91 points initialement non urbanisés, 85 n'ont pas changé de statut. Ces points se retrouvent dans les zones comme le mont Fébé.

Le résultat de cette classification (tableau 2) figure dans la matrice « rangée » et les données de référence sont représentées en colonne. Sur le tableau 2, on rapporte aussi les erreurs d'omission et de commission. Deux des 9 pixels classifiés comme urbanisés n'étaient pas en fait dans l'espace urbain, soit une erreur de surestimation de 22 %. Six des 91 pixels classifiés comme non urbains se sont révélés urbanisés, soit une erreur de sous-estimation de 7 %.

Les deux erreurs de surestimation des pixels urbanisés peuvent être attribuées, entre autres, à l'écart d'indices (végétation et de brillance) pendant ces deux périodes (1973 et 1988), à la présence d'une mince couche de voiles nuageux au sud de l'image de 1988 et aux modifications intervenues lors du processus de recalage et du calibrage.

Des 6 erreurs de sous-estimation, 3 sont apparues dans les zones précédemment urbanisées. La zone de Mokolo par exemple a enregistré 2 erreurs de classement, qui pourraient être attribuées au déplacement forcé des résidents à partir de 1976 (Santoir et Bopda, 1995). Les 3 autres erreurs sont enregistrées dans la zone périurbaine, rapidement et anarchiquement urbanisée entre 1973 et 1988 (Cogneau et Roubaud, 1997). La trajectoire Mballa-Emana par exemple a connu un changement significatif entre 1973 et 1988, préservant par endroits des poches de verdure.

Les autres erreurs se retrouvent dans les espaces présentant des signatures de texture très homogènes, comme c'est le cas dans la zone de Mvan. Cela suppose que les exploitations agricoles et les villages périurbains juxtaposés à la tache urbaine sont associés à l'espace urbanisé.

En terme de superficie, avec cette méthode, on a évalué la tache urbaine de Yaoundé à 14 078 ha en 1988 contre 4 371 en 1973. Bien que le taux annuel de changement concorde avec le taux de croissance de la population (8,1 %), l'estimation de 1988 semble être bien supérieure aux estimations du RGPH de 1976 et de 1987, d'où la nécessite de conduire une autre évaluation des résultats et de la superficie utilisant une approche différente. Cette disparité a exigé une vérification supplémentaire, notamment mesurer la surface urbanisée en 1973 et en 1988.

5.2. Mesurer la surface urbanisée

Après avoir affiché à l'écran l'image composite de 1973 et de 1988, le périmètre urbanisé a été délimité, respectivement, pour les années 1973 et 1988 (figure 5).

Le nombre de pixels et la surface de la tache urbaine pour chaque année ont été déterminés. Le périmètre ainsi délimité pour l'année 1973 comptait 48 567 pixels contre 156 432 pixels pour le périmètre de 1988. En multipliant le nombre de pixels par la résolution spatiale de 30 m, la superficie urbanisée s'élevait à 12 848 ha en 1988 contre 3 975 ha en 1973, soit un taux annuel d'expansion spatiale de 8,1 %.

Sur le tableau 3, on présente la différence notable entre la superficie urbaine obtenue à partir d'images classifiées et celle basée sur les statistiques officielles. Cet écart s'explique par le fait que l'État camerounais pratique une « délimitation subjective, utilitaire ou fonctionnelle de l'espace » (Tonyé *et al.*, 2000), sur la base d'informations souvent dépassée, et ne représentant pas toujours la couverture réelle de la ville.

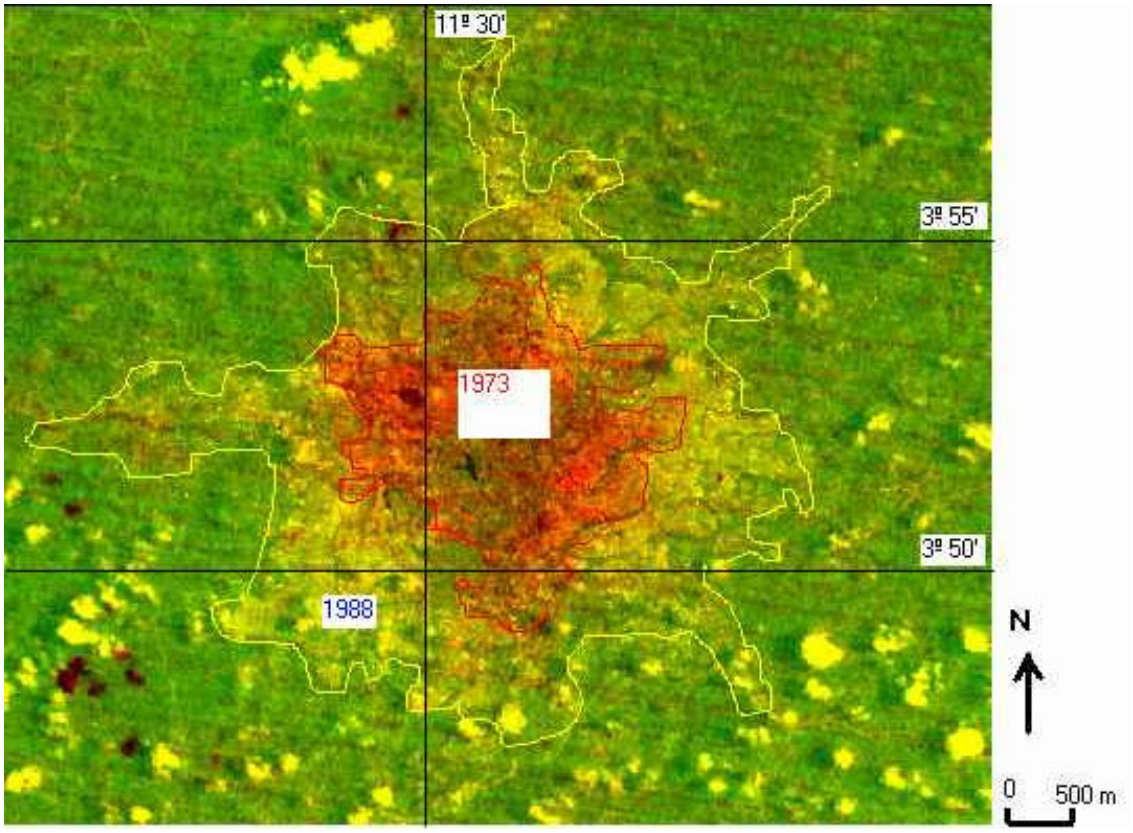


FIGURE 5 Périmètres urbains de Yaoundé en 1973 et 1988. *Yaoundé urban fringes in 1973 and 1988.*

TABLEAU 3 Évaluation de la dynamique de Yaoundé. *Appraisal of urban growth of Yaoundé.*

	Population RGPH, 1976 & 1987	Superficie (ha) : estimation des RGPH 1976 et 1987	Superficie (ha) : délimitation manuelle	Superficie (ha) : extraction automatique
1973	250 000	3 800	3 975	4 371
1988	826 000	6 500	12 848	14 078
Croissance annuelle	8,3 %	3,64 %	8,1 %	8,1 %

Source :Données issues des RPGH de 1976 à 1987, et des images MSS et TM Landsat de Yaoundé, 1973 et 1988.

6. DISCUSSION

Dans cette étude, on a utilisé des images MSS et TM de Landsat avec 15 ans d'intervalle pour estimer l'espace urbanisé de Yaoundé. Les deux images ont été classifiées pour mener l'opération de détection des changements. La matrice de confusion a produit une précision de classification de 92 %. Le seuil de 10 % retenu après plusieurs essais a produit une précision de 53,9 % et 97,7 % pour les pixels, respectivement urbains et non urbains. Au total, 8,3 % des pixels classifiés comme non urbains, en 1973, sont urbains, en 1988.

La marge d'erreur pourrait s'expliquer par la procédure de recalage et de calibrage de la résolution de 80 m à 30 m. En effet, cette procédure a engendré des erreurs de l'ordre de 0,02 (*Root Mean Square error*). Ainsi, si l'objectif était de développer un niveau de précision élevé, il serait préférable d'utiliser les images du même capteur avec la même résolution, et de préférence haute.

Par ailleurs, le seuil de décision de l'algorithme de classification urbain et non urbain a classifié de façon arbitraire certains pixels, notamment ceux qui se trouvaient par exemple dans la zone affectée par les taches nuageuses, les zones humides ou des petites poches de végétation. Ces erreurs ont été corrigées grâce à la connaissance du terrain d'étude. En plus, l'éventualité de combiner des

images radar avec des images optiques permettrait de s'affranchir des contraintes atmosphériques et faciliterait ainsi une meilleure identification des éléments urbains. Bien plus, en zone tropicale humide, les images radar offrent plus de flexibilité dans le choix des échantillons et périodes d'analyse que les images optiques. Cette étude a montré que malgré la disparité dans la résolution des images TM et MSS, ainsi que leur faible performance en zone nuageuse, les données de ces images peuvent être traitées et servir de base de données fiable aux études urbaines. Il est aussi possible, qu'en utilisant un échantillon de référence plus grand (plus de 100), le taux de précision puisse être amélioré. La méthode de délimitation manuelle et sur écran du périmètre urbain sur deux images géoréférencées s'avère efficace et rapide pour mesurer le périmètre urbain. Les résultats confirment ceux obtenus par la méthode de détection des changements.

Toutefois, l'objectif de cette étude était d'évaluer la croissance de la tache urbaine. Le taux de précision de 92 % paraît encourageant dans un contexte climatique et géographique des régions équatoriales.

7. CONCLUSION

Dans cette recherche, on montre, qu'à partir d'images satellitaires multidates, on peut estimer avec une précision satisfaisante la superficie et le périmètre urbain. De même qu'en absence d'une mise à jour des outils de planification et de suivi de la croissance spatiale d'une ville, la méthode de détection des changements se révèle comme une approche rapide, peu coûteuse et fiable. Dans le cas de Yaoundé, les méthodes utilisées donnent de meilleurs résultats par rapport à ceux obtenus par des déductions approximatives et contenues dans les Recensements Généraux de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 1976 et 1988. Dès lors, les images satellitaires s'avèrent fiables en tant qu'outils d'évaluation de la dynamique urbaine dans un contexte où les statistiques urbaines sont dépassées, peu fiables et rares.

Remerciements

L'auteur remercie l'Université de Melbourne (Australie) pour son appui constant dans la réalisation de ce travail, ainsi que tous les évaluateurs de la *Revue Télédétection* pour leurs pertinentes remarques.

Références

Assako Assako, R.J., (1998) Apport de la télédétection et du SIG dans la recherche des zones constructibles d'un site urbain de collines : le cas de Yaoundé (Cameroun). L'Espace géographique, tome 27, nº 2, p.122-128.

Assako Assako, R.J. et Tonyé, E. (2000) Évaluation comparative des méthodes pour la délimitation d'un périmètre urbain par télédétection. Télédétection, vol. 1, nº 4, p. 305-325.

Cogneau, D. et Roubaud, F. (1997) Utilisation de la télédétection pour l'élaboration du plan de sondage d'une enquête sur le secteur informel : le cas de Yaoundé. Actes du séminaire sur le secteur informel et la politique économique en Afrique Subsaharienne, Bamako, 10 au 14 mars 1997, Afristat-ORSTOM,tome 3, vol. 3, www.afristat.org/Afristat/Publications/pdf/tome3.pdf (visité en juin 2002) p. 31-41.

Eros Data Center (2000) http://edcwww.cr.usgs.gov (visité en mai 2000).

Franqueville, A. (1984) *Yaoundé. Construire une capitale*, ORSTOM, 192 p.

Gordon, S.I. (1980), Utilizing Landsat imagery to monitor land-use change: A case study in Ohio. *Remote Sensing of Environment*, vol. 9, p.189-196.

Jensen, J.R. (1996) *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2e édition, Prentice Hall, Saddle River, 316 p.

Jensen, J. and Toll, D. (1982). Detecting residential land-use development at the urban fringe. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 48, nº 4, p. 629-643.

Lillesand, T.M. and Kieffer R.W. (2000) *Remote sensing and image interpretation*, 4e édition, John Wiley and Sons, New York, 724 p.

MINPAT (Ministère du Plan et de l'Aménagement du Territoire du Cameroun) (1993) Démo 87 : Deuxième Recensement Général de la Population et de l'habitat du Cameroun, vol. 2, tome 12, 225 p.

MINUH (Ministère de l'Urbanisme et de l'Habitat du Cameroun) (1990) *Evaluation of real housing needs in Cameroon. Indicators for national housing policy, strategies towards a national housing policy*. Yaoundé, 259 p.

Moller-Jensen, L. (1990) Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat-TM imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, nº 6, p. 899-904.

Mouat, D.A., Mahin, G.G. and Lancaster, J. (1993) Remote sensing techniques in the analysis of change detection. Geocarto International, vol. 8, nº 2, p. 39-50.

Nations-Unies (1997) *Urban agglomerations 1996*. htpp://www.undp.org/popin/wdtrends/urb/urbpad.htm (visité en septembre 2001).

Santoir, C. et Bopda, A. (1995) *Atlas régional Sud-Cameroun*. Éditions ORSTOM, Paris, 53 p.

Sietchiping, R. (2001) Mapping, simulation and animation of fast growing cities: An alternative decision Support Approach. *2nd International Symposium of Urban areas*, Regensburg, 22-23 June 2001, 4 p.

Tonyé, E., Akono, A., Ndi Nyoungui, A. et Assako Assako, R.J. (2000) Utilisation des données ERS1 et SPOT pour le suivi de la croissance périphérique de la ville de Yaoundé (Cameroun), *In* Bannari, A. (réd.) Actes du 67e Congrès de l'Association canadienne-française pour l'avancement des sciences (ACFAS), Ottawa, 1999, p. 83-90.

Ward, D. and Murray, A.T. (2000) Monitoring growth in rapidly urbanizing areas using remotely sensed Data. *Professional Geographer* vol. 52, nº 3, p. 371-386.

Yeh, A.G.O. and Li, X. (2001) Measurement and Monitoring of Urban Sprawl in a Rapidly Growing Region Using Entropy. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,* vol. 67, nº 1, p. 83-90.