

LA CROISSANCE DE L'URBANISATION MORPHOLOGIQUE À KINSHASA ENTRE 1979 ET 2015 : ANALYSE DENSIMÉTRIQUE ET DE LA FRAGMENTATION DU BÂTI

Jean-Pierre MESSINA NDZOMO, Kouagou Raoul SAMBIENI,
Philippe MBEVO FENDOUNG, Jean-Pierre MATE MWERU, Jan BOGAERT
et Jean-Marie HALLEUX

Résumé

L'objectif de la recherche synthétisée dans cet article a été de lever un coin du voile sur le sujet de la croissance spatiale de Kinshasa. Sur le plan méthodologique, nous sommes partis du postulat que les techniques de la télédétection et de l'analyse spatiale peuvent contribuer à améliorer les connaissances sur l'évolution spatiale des villes qui, à l'instar de Kinshasa, sont en croissance soutenue. Le travail a consisté en l'analyse de l'évolution spatio-temporelle de l'agglomération morphologique de Kinshasa entre 1979 et 2015. Pour cette analyse, les données issues de la télédétection ont été intégrées dans une démarche méthodologique ayant conjugué une analyse densimétrique à une analyse de la fragmentation du bâti. Cela a permis d'aboutir, d'une part, à une cartographie de la tache urbaine à différentes époques et, d'autre part, au constat que l'agglomération kinoise est soumise à un double phénomène d'extension et de densification. Nos traitements ont également mis en évidence un phénomène de saturation foncière au sein de l'agglomération en question. Dans la perspective de grands projets d'aménagement, nous pouvons en déduire que la ressource des espaces ouverts intra-agglomération se tarit et, en conséquence, que les disponibilités restantes sont à considérer comme des réserves stratégiques.

Mots-clés

croissance urbaine, périurbanisation, densification, télédétection, analyse spatiale, Kinshasa

Abstract

The objective of the research synthesized in this article was to shed light on the subject of Kinshasa's spatial growth. From a methodological point of view, we started from the premise that remote sensing and spatial analysis techniques can contribute to improving knowledge about the spatial evolution of cities, which, like Kinshasa, are in constant growth. The work consisted in the analysis of the spatio-temporal evolution of the morphological agglomeration of Kinshasa between 1979 and 2015. For this analysis, the data resulting from the remote sensing were integrated into a methodological approach having combined a densimetric analysis with an analysis of the fragmentation of the built space. This made it possible, on the one hand, to map the urban agglomeration at different times and, on the other hand, to find that the city of Kinshasa is subject to a double phenomenon of extension and densification. Our treatments also revealed a phenomenon of land saturation within the agglomeration in question. In view of major development projects, we can deduce that the resource of intra-agglomeration open spaces is drying up and, consequently, that the remaining availabilities are to be considered as strategic reserves.

Keywords

urban growth, peri-urbanization, densification, remote sensing, spatial analysis, Kinshasa

INTRODUCTION

Notre planète est en voie d'urbanisation et la grande majorité de ses villes sont en voie de périurbanisation (Halleux, 2015). Ces évolutions posent de redoutables problèmes d'urbanisme et de gestion de la ressource foncière, notamment en Afrique sub-saharienne, où les autorités n'y sont généralement pas préparées, ni techniquement, ni financièrement (UN-Habitat, 2010). Conjuguée à la pauvreté urbaine et au rythme de la croissance démographique, la faiblesse des politiques d'amé-

nagement contribue aux extensions inorganisées des villes (Useni *et al.*, 2018 ; Champaud *et al.*, 1997). Malheureusement, ces croissances inorganisées sont souvent indissociables de la formation de quartiers informels (Watson, 2009). De telles évolutions sont observées à Kinshasa, par exemple, mais elles sont aussi le fait de nombreuses autres villes congolaises (Useni *et al.*, 2018 ; De Saint Moulin, 2010 ; Flouriot, 2008) et africaines, où les périphéries en extension sont affectées par de nombreux problèmes socio-économiques et environnementaux : absence d'infrastructures et

de services communautaires, longs déplacements vers les centres-villes, érosions, inondations, etc... (Lelo Nzuzi, 2018 ; Angel *et al.*, 2016 ; Angel *et al.*, 2011 ; Lelo Nzuzi, 2011).

Sans conteste, la croissance urbaine de Kinshasa est particulièrement interpellante et préoccupante. Officiellement, la capitale de la RDC est devenue une mégapole en 2013, depuis que plus de 10 millions d'habitants y sont recensés dans ses registres de population (INS, 2015 ; SOSAK, 2014). D'un côté, nous y trouvons une croissance démographique extrême et, d'un autre côté, nous ne disposons que d'un nombre très limité de recherches et d'études consacrées à l'impact de cette explosion démographique sur la croissance de l'urbanisation morphologique et sur le fonctionnement des espaces urbains et périurbains.

L'objectif de la recherche synthétisée dans cet article a été de lever un coin du voile sur le sujet de la croissance spatiale de Kinshasa, grâce à une analyse de l'évolution spatio-temporelle de son agglomération principale entre 1979 et 2015. Nous avons réalisé cette recherche afin de fournir des ordres de grandeur quant aux variables de la superficie et de la densité de population des terrains occupés par l'urbanisation. Notre démarche est justifiée par le fait que, pour une ville, la connaissance de tels indicateurs est un préalable à la mise en place d'une réflexion objectivée sur les grands principes stratégiques à adopter en matière d'urbanisme et d'aménagement (Angel *et al.*, 2010). Dans le cas de Kinshasa, cette réflexion devrait avoir comme finalité de limiter l'expansion des quartiers informels (Lelo Nzuzi, 2018).

Notre travail a mobilisé les techniques de la télédétection et de l'analyse spatiale. Sur le plan méthodologique, nous sommes partis du postulat que ces techniques peuvent contribuer à améliorer les connaissances sur l'évolution spatiale des villes qui, à l'instar de Kinshasa, sont en croissance soutenue (Tsayem et Trebouet, 2010 ; Donnay *et al.*, 2001 ; Mouafo, 2000).

La suite de l'article est structurée en quatre sections. En section 1, nous présentons une synthèse des travaux ayant été consacrés au sujet des dynamiques spatiales de Kinshasa. En section 2, nous présentons notre démarche méthodologique, une démarche que nous avons organisée en trois phases principales.

En section 3, nous présentons nos résultats et, en section 4, nous synthétisons nos conclusions.

I. LES DYNAMIQUES SPATIALES DE KINSHASA : UNE CROISSANCE URBAINE DE PLUS EN PLUS DÉSORGANISÉE

Kinshasa est, au départ, une bourgade coloniale baptisée « *Leopoldville* » par l'explorateur Henry Morton Stanley (SOSAK, 2014). Elle occupe un site bien particulier choisi pour ses atouts géographiques : proximité du fleuve, plaine alluviale facile à urbaniser. En 1923, Léopoldville est décrétée capitale du pays. Elle change ensuite de nom en 1968 et devient « *Kinshasa* » (De Saint Moulin, 2010). Selon la Constitution de la RDC, Kinshasa cumule son rôle de capitale à celui d'une province, au même titre que les 25 autres du pays. L'entité administrative couvre une superficie de 9 965 km² (Figure 1). Elle intègre 24 communes (De Saint Moulin, 2010 ; Lelo Nzuzi, 2008) et, comme nous le détaillerons, elle est bien plus étendue que l'agglomération morphologique principale de Kinshasa. Le site de Kinshasa présente un relief diversifié, où le centre-ville historique s'est logé sur la plaine à une faible altitude au bord du fleuve Congo. Les communes des périphéries ouest et sud sont situées sur des collines aux reliefs assez mouvementés. À l'est, nous trouvons le grand plateau du Kwango, où les croissances urbaines récentes sont particulièrement fortes (Katalayi Mutombo, 2015 ; Lelo Nzuzi, 2011 ; Kayembe *et al.*, 2009).

Depuis sa création jusqu'à l'indépendance en 1960, Kinshasa a fait l'objet d'une planification stricte assurée par l'administration coloniale (Kabamba K., 2014 ; Lelo Nzuzi, 2011). Après 1960, et à cause de l'urbanisation rapide associée à la faible planification, l'agglomération urbaine a vite dépassé les capacités du site initial, pour s'étendre sur des terrains moins propices. Cependant, jusqu'en 1979, c'est-à-dire au début de la période prise en compte par nos traitements dans la présente étude, la structure urbaine de Kinshasa demeure fortement déterminée par la configuration de la ville postindépendance. À l'époque, en dépit de la croissance démographique fulgurante et de la levée des restrictions d'immigration, la structure spatiale urbaine continue de respecter la configuration en damier de l'ancienne ville coloniale (Katalayi Mutombo, 2015, Lelo Nzuzi, 2011). Un réseau routier régulier, avec des voies perpendiculaires et parallèles aux rives du

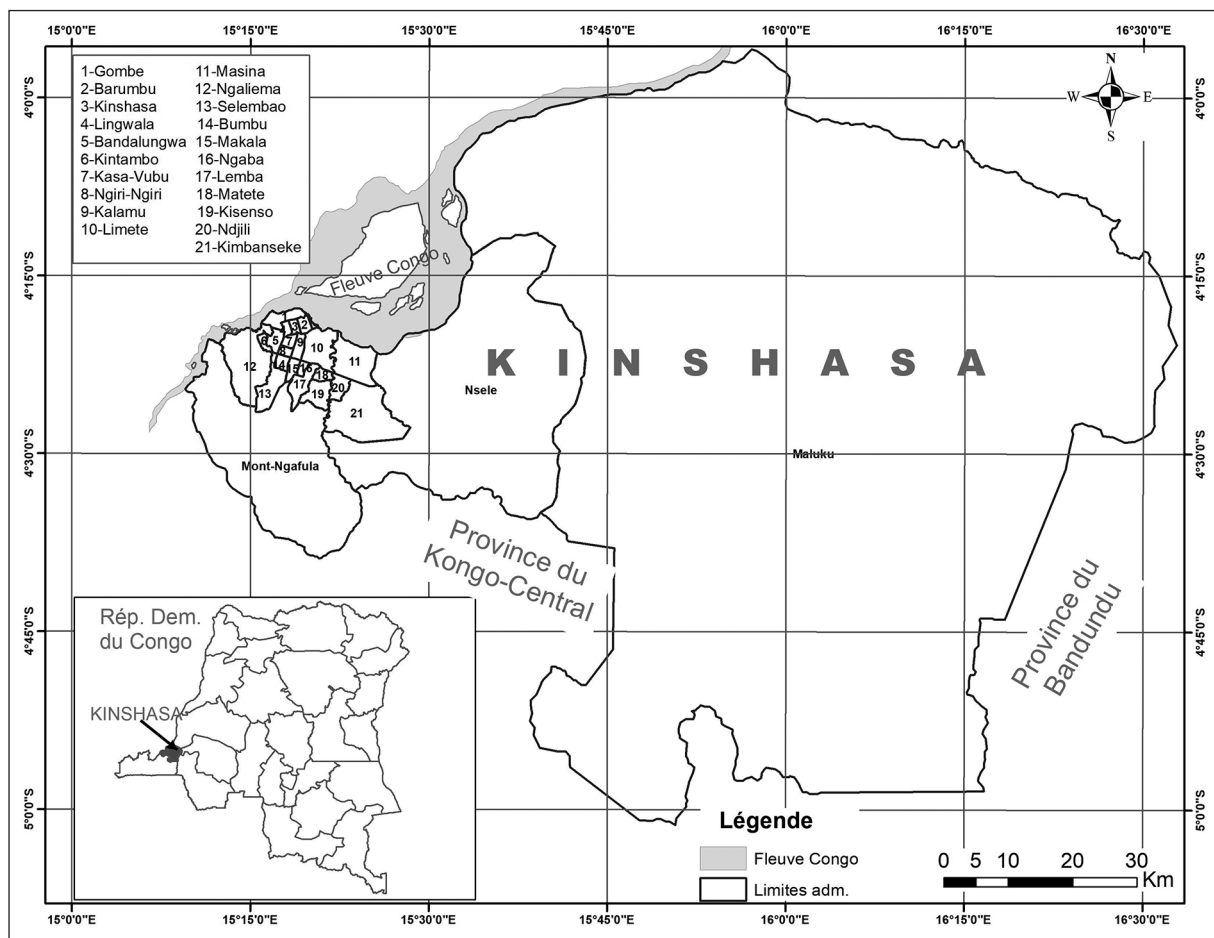


Figure 1. Localisation de la Ville-Province de Kinshasa. Source : Shapefile RGC / Octobre 2016

fleuve, caractérise alors une ville qui présente une double configuration, avec la ville européenne au nord, en bordure du fleuve, et la ville indigène au sud, séparées l'une de l'autre par une zone tampon.

Cette configuration d'une « ville-double » est une caractéristique des capitales africaines de l'époque (De Saint Moulin, 2010 ; Njoh, 2003). La forme globale de ces villes et l'harmonie urbanistique mises en place y assurent une certaine cohérence entre les quartiers, ce qui participe à leur unité en les enfermant dans des ceintures vertes. La politique de confinement par les ceintures vertes n'a cependant pas empêché l'extension des agglomérations. À Kinshasa comme ailleurs, l'extension urbaine s'est ainsi propagée au-delà des clôtures maraîchères en suivant la direction des principaux axes de transport (Kayembe *et al.*, 2009, Lelo Nzuzi, 2008). Durant les décennies 1970-1980, la croissance spatiale kinoise était alors fortement déterminée par des populations urbaines ayant choisi l'agriculture périurbaine comme une solution dans leur stratégie de lutte contre la crise économique.

Durant la décennie 1990, l'extension spatiale urbaine est le fait de la croissance démographique des populations locales (Fumunzanza, 2008). Elle est caractérisée par la densification des quartiers existant à travers l'occupation des interstices jusque-là inoccupés et l'éloignement aux axes et au centre-ville (Kayembe *et al.*, 2009 ; Kayembe *et al.*, 2016). L'extension spatiale périurbaine de ces années est également alimentée par l'arrivée de populations externes à la ville, en raison notamment des conflits qui ont marqué le pays pendant cette décennie (Fumunzanza, 2008 ; De Saint Moulin, 2010 ; Nzuzi Lelo, 2011).

Comme nous le détaillerons, les récentes extensions de la ville de Kinshasa portent sur des secteurs de plus en plus éloignés du centre. Cette évolution a été facilitée par des travaux de reconstruction mis en place à partir de 2005, en lien avec un relatif apaisement des instabilités politiques (Lelo Nzuzi, 2018). Signalons ici l'importance du boulevard Lumumba sur l'expansion urbaine. Ce boulevard relie le centre de l'agglomération

à l'aéroport de Ndjili, vers la sortie orientale de la ville.

Ces évolutions spatiales imposent une réflexion sur l'évolution densimétrique de Kinshasa. En effet, durant la période récente, il existerait une tendance planétaire vers la dédensification des agglomérations urbaines (Angel *et al.*, 2010). Cette conclusion s'appuie sur une analyse menée pour la période 1990-2000, à partir d'un échantillon de 120 villes représentatives de la diversité planétaire du phénomène (péri)urbain. Durant cette décennie, la densité a décliné dans l'ensemble des villes de l'échantillon appartenant au groupe des pays développés (32 villes), mais également dans 77 des 88 villes appartenant à la catégorie des pays en voie de développement.

Cependant, la littérature disponible sur le développement de la ville de Kinshasa n'est pas unanime vis-à-vis de la question des phénomènes de densification-dédensification. Nous trouvons des conclusions divergentes entre, d'une part, les résultats d'Angel *et al.* (2016) et, d'autre part, les résultats de Kayembe *et al.* (2009). Selon les données rassemblées par Angel et ses collègues (2016, p. 215), Kinshasa s'inscrirait dans une tendance vers la dédensification, avec une zone bâtie qui passe de 536 hab./ha en 1994 à 303 personnes par hectare en 2013. Par contre, selon les données rassemblées par Kayembe *et al.* pour la période 1960 - 2005, les taux de croissance de la population seraient nettement supérieurs aux taux de croissance des surfaces urbanisées : 6,73 % en moyenne annuelle pour la croissance démographique contre 4,21 % en moyenne pour la croissance spatiale. Bien sûr, le corolaire de ces taux est une tendance globale vers la densification. Pour l'ensemble de la période étudiée par Kayembe et ses collègues, seule la sous-période 1981-1984 s'inscrirait dans une logique de dédensification.

Les divergences entre Kayembe *et al.* (2009) et Angel *et al.* (2016) sont vraisemblablement la conséquence d'approches méthodologiques hétérogènes. Malheureusement, sur la base des publications disponibles, il est impossible d'identifier les causes précises de ces divergences. Face à ce constat, un des objectifs de notre recherche a été la production de résultats robustes quant au sujet des évolutions de la densité globale au sein de l'agglomération kinoise.

Au-delà de la divergence des résultats générés par les approches quantitatives, les approches qualitatives et descriptives conduisent à souligner la concomitance des phénomènes de densification et de dédensification. D'un côté, des logiques de dédensification seraient en œuvre aux franges de l'agglomération kinoise, par la constitution de périphéries de faibles densités (Angel *et al.*, 2016). Par contre, selon les travaux de terrain menés par Lelo Nzuzi (2011), la densification serait prédominante au sein des anciennes cités du centre-ville, que caractérisent de fortes croissances démographiques et un fort dynamisme du secteur de la construction. Les analyses de Wolff et Delbart (2002) et celles publiées en 2014 dans le cadre de l'élaboration du Schéma d'Orientation Stratégique de l'Agglomération Kinoise (SOSAK) sont en accord avec ces observations.

II. MÉTHODOLOGIE

A. Données utilisées

Notre travail est basé sur l'analyse de quatre images LANDSAT choisies et téléchargées depuis le site de l'USGS en exploitant l'application Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Elles proviennent de quatre capteurs différents montés à bords de quatre générations successives de la série des satellites Landsat et correspondent aux années suivantes : 1979, 1995, 2005 et 2015. La résolution spatiale des bandes multi-spectrales exploitées varie de 30 à 60 m (Tableau 1). L'étude mobilise également des données démographiques à l'échelle de la Ville-Province de Kinshasa. Ces données ont été fournies par l'Institut National de la Statistique (INS). Malheureusement, l'INS n'a pas pu nous fournir de données plus fines sur l'évolution démographique des communes et des quartiers à l'intérieur de la Ville-Province.

Les portions de scènes couvrant l'agglomération de Kinshasa et ayant fait l'objet des traitements sont limitées par les points : A (15°8'52"E ; 4°12'12"S), B (15°8'52"E ; 4°33'10"S), C (15°40'34"E ; 4°33'10"S) et D (15°40'34"E ; 4°12'12"S) (figure 3). À l'intérieur de ce périmètre, nos traitements n'ont pas porté sur les pixels correspondant au fleuve ni à ceux positionnés en rive droite du fleuve, c'est-à-dire correspondant au Congo-Brazzaville. Les traitements d'images ont été effectués par les logiciels *TerrSet/Idrisi* (version 18.02) et *ArcMap*

Capteurs	LANDSAT 3 MSS		LANDSAT 5 TM		LANDSAT 7 ETM+		LANDSAT 8 OLI/TIR	
	λ (μm)	R_s (m)	λ (μm)	R_s (m)	λ (μm)	R_s (m)	λ (μm)	R_s (m)
Bleue	-	60*	0,45-0,52	30	0,45-0,52	30	0,452-0,512	30
Verte	0,5-0,6		0,52-0,60		0,52-0,60		0,533-0,590	
Rouge	0,6-0,7		0,63-0,69		0,63-0,69		0,636-0,673	
PIR 1	0,7-0,8		0,76-0,90		0,77-0,90		0,851-0,879	
PIR 2	0,8-1,1							
MIR 1	-		1,55-1,75		1,55-1,75		1,566-1,651	
MIR 2	-		2,08-2,35		2,08-2,35		2,107-2,294	
Caractéristiques des scènes								
Dimensions	170 km x 185 km		170 km x 183 km	170 km x 183 km	170 km x 183 km			
Nombre de bandes	04		07 (bande 6 - IR thermique pas utilisée)	08 (bande 6 - IR thermique - et 8 - panchromatique pas utilisées)	9 (bandes 1 - violet -, 8 - panchromatique - et 9 - SWIR pas utilisées)			
Résolution radiométrique	7 bits*		8 bits	8 bits	16 bits			
Date d'enregistrement	18-03-1979		01-02-1995	31-08-2005**	04-09-2015			

* Les données originales sont produites à 57 m x 79 m de résolution spatiale. Les valeurs numériques sont codées sur 8 bits, mais seuls 7 bits, correspondant à la résolution radiométrique du capteur MSS, sont utilisés. Elles sont livrées par l'USGS après ré-échantillonnage dans le système de référence cartographique UTM33S à 60 m de résolution spatiale.

** L'image de 2005 présente des rayures dues à la panne du système de contrôle d'alignement des points échantillonnés survenue en 2003. Toutefois, sa qualité radiométrique et la non altération de l'information spatiale en dehors de rayures ont justifié son utilisation.

Tableau 1. Capteurs à bord de quatre satellites LANDSAT successifs et caractéristiques des bandes spectrales utilisées (λ est la longueur d'onde en μm et R_s est la résolution spatiale en m)

(version 10.1). La méthodologie de traitement des données correspondant comprend trois parties : la classification des images, la cartographie de l'Agglomération Morphologique de Kinshasa (AMK) et la mesure des paramètres spatiaux (Figure 2).

B. Classification des images

1. Classification

La première étape avant la classification des images correspond à leur prétraitement, afin notamment d'apporter des corrections géométriques. Bien que les images de niveau L1G téléchargées depuis le site de l'USGS soient déjà géoréférencées (USGS Ecological Survey, 2016) dans le même système de projection UTM Zone 33S, elles sont géométriquement incohérentes. Ces incohérences peuvent

atteindre plusieurs centaines de mètres. Par ailleurs, la résolution spatiale de l'image LANDSAT 3 MSS est différente de celle des autres images LANDSAT. Nous avons donc réalisé un géoréférencement semi-automatique à l'aide des points de contrôle en utilisant un modèle polynomial linéaire et la technique du plus proche voisin (Jensen, 1986) pour le rééchantillonnage à une résolution commune de 30 m. L'image de 2015, la plus récente, a servi de référence pour rectifier les plus anciennes. L'incertitude (RMS_e) maximale du géoréférencement relatif est de 8,3 m, soit moins du $\frac{1}{2}$ pixel, ce qui rend les différentes images géométriquement comparables.

La deuxième étape est la réalisation d'une classification supervisée. Elle a été menée en utilisant l'algorithme du maximum de vraisemblance en faisant l'hypothèse que la probabilité *a priori* de

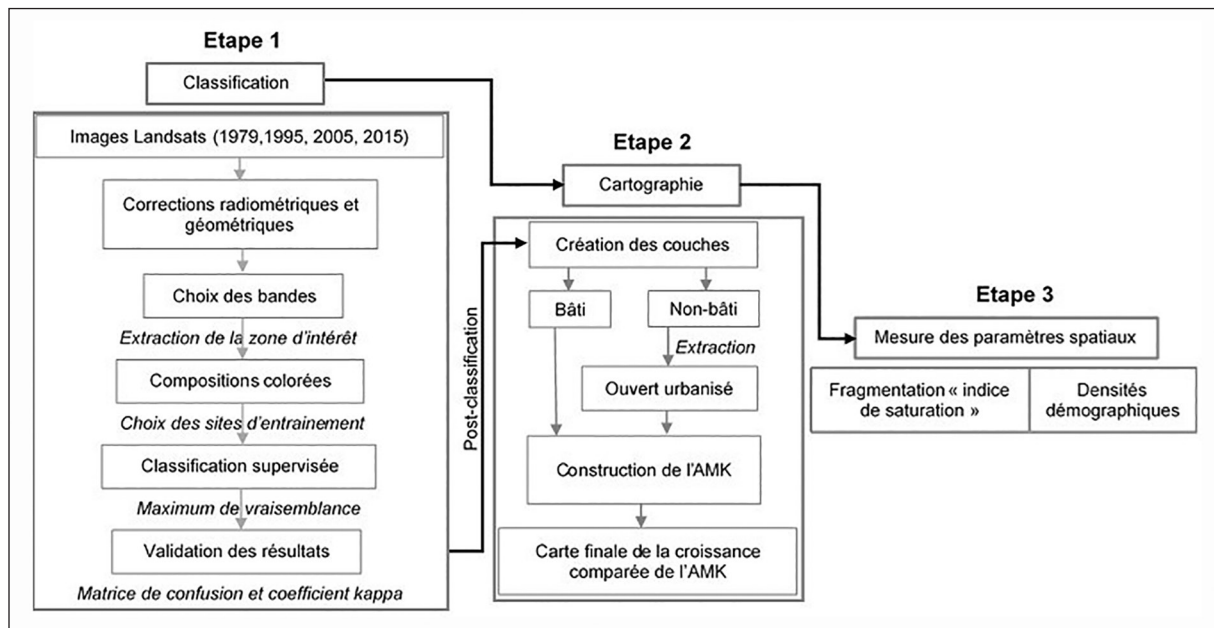


Figure 2. Schéma synoptique de la méthodologie de traitement des données

chaque classe soit équivalente. Afin de prendre en compte la diversité des signatures spectrales au sein des classes finales et d'éviter d'accroître les variances et donc aussi les confusions, nous avons appliqué la règle de décision sur huit sous-classes. Ces dernières ont été regroupées en post-classification en quatre classes. Au final, notre analyse de classification a retenu les classes suivantes : les sols bâtis, les sols nus, les sols végétalisés et l'eau. L'algorithme de classification a été entraîné par des échantillons de pixels représentatifs des sous-classes sélectionnés par l'utilisateur. Les statistiques spectrales monovariées et multivariées des pixels de ces échantillons permettent de calculer la probabilité d'appartenance d'un pixel donné à une sous-classe déterminée. Cette probabilité est un des termes de la fonction discriminante que l'on cherche à maximiser pour déterminer avec précision la probabilité conditionnelle qu'une sous-classe déterminée contienne un pixel donné. Elle est estimée en exploitant les réflectances moyennes ainsi que les matrices variances-covariances par bande spectrale et par sous-classe en faisant l'hypothèse d'une distribution normale multivariée des valeurs radiométriques des différentes sous-classes. Nous avons dès lors veillé à sélectionner des échantillons dont les valeurs radiométriques dans les différentes bandes présentent une distribution unimodale et la plus proche possible de la normalité. Par ailleurs, les zones d'entraînement ont été numérisées pour chaque sous-classe en veillant à englober un nombre de pixels suffisant, soit plus de dix fois le nombre de bandes spectrales. En raison

des écarts temporels qui séparent les différentes images et l'évolution de l'occupation du sol que cela engendre, les mêmes zones d'entraînement n'ont pas pu être utilisées sur l'ensemble de la série. Elles ont donc été créées pour chaque image.

La troisième étape correspond aux opérations post-classification. Elles ont consisté à regrouper les sous-classes puis à appliquer un filtre modal exploitant une fenêtre de convolution de neuf pixels (3x3). Cette dernière opération a permis d'éliminer les pixels isolés et de former des ensembles plus ou moins homogènes des classes d'occupation du sol.

2. Validation des classifications

Les classifications effectuées ont été validées à l'aide d'un échantillon aléatoire stratifié de points en chacune des dates. Pour chaque point de ces échantillons, nous avons déterminé la classe vérité-terrain servant de référence pour évaluer l'exactitude de la procédure de classification. Cette vérité-terrain résulte de l'interprétation de différentes compositions colorées en vraie couleur, en fausse couleur infra-rouge et en fausse couleur de synthèse réalisées à partir de nos images aux différentes dates d'analyse. Cette opération est la première étape du processus de validation qui s'appuie, de manière indispensable, sur une source qui permet de confronter les résultats des traitements à la réalité du terrain (Munyemba et Bogaert, 2014). La comparaison entre les résultats de la classification et la vérité-terrain est faite par

la suite en construisant une matrice de confusion (Congalton et Green, 2009), puis en calculant des indicateurs d'exactitude. Nous avons calculé la précision globale (équation 2), la précision de l'utilisateur (complément de la commission) et la précision du producteur (complément de l'omission) pour chaque classe et, enfin, le coefficient d'association Kappa global (équation 1) recommandé par plusieurs chercheurs (Munyemba et Bogaert, 2014 ; Congalton and Green, 2009 ; Rosenfield *et al.*, 1986 ; Congalton, 1961 ; Cohen, 1960). Dans les relations ci-dessous, n_{ii} représente les éléments de la diagonale de la matrice de confusion d'ordre k , $n_{i.}$ et $n_{.j}$ correspondent respectivement à la somme des pixels de la ligne i et de la colonne j et N est le nombre de pixels total de la matrice.

$$CK = \frac{N \sum_{i=1}^k n_{ii} - \sum_{i,j=1}^k n_{i.} n_{.j}}{N^2 - \sum_{i,j=1}^k n_{i.} n_{.j}} \quad (1)$$

Le coefficient Kappa (CK) varie entre 0 et 1. Une valeur nulle signifie que l'algorithme de classification ne performe pas mieux qu'une classification aléatoire. Une valeur de Kappa supérieure à 0,8 représente une forte association entre le résultat de l'algorithme de classification et la référence ; une valeur située entre 0,4 et 0,8 représente une association modérée et une valeur inférieure à 0,4 représente une association faible (Landis et Koch, 1977).

La précision globale représente la proportion des pixels bien classés (PPBC) exprimée en pourcentage. Elle est calculée par la relation (2) ci-après.

$$PPBC = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{N} \times 100 \quad (2)$$

La précision de l'utilisateur P_u est le pourcentage de pixels d'une classe issue de la classification correspondant à la même classe dans les données de référence. Elle est égale à « 100 % - erreur d'excédents ou de commission ». En parallèle, la précision du producteur P_p est le pourcentage de pixels d'une classe de référence affectés à la même classe par la classification. Elle est égale à « 100 % - erreur de déficits ou d'omission ».

Les matrices de confusion et les valeurs des métriques de qualité obtenues pour les différentes dates sont présentées et interprétées dans la partie résultat. Dans cette interprétation, nous avons prêté une

attention particulière à l'effet des confusions pour chaque date sur les évolutions mises en évidence par la méthode de travail développée.

C. Cartographie de l'Agglomération Morphologique de Kinshasa et mesure des paramètres spatiaux

Les résultats de la classification des images ont permis de différencier deux grandes catégories d'occupation du sol : les pixels correspondant aux espaces « bâti » (Classe « sol bâti ») et les pixels correspondant aux espaces « non bâti » (Classes « sol nu », « sol végétalisé » et « eau »). Afin de délimiter l'agglomération principale de Kinshasa, que nous nommerons ici l'Agglomération Morphologique de Kinshasa (AMK), nous avons retenu les pixels de la catégorie « bâti » et nous y avons ajouté les « espaces ouverts urbanisés ». Ces derniers sont constitués des pixels non-bâti qui sont, soit entièrement entourés par des pixels bâtis, soit situés dans un voisinage extérieur à moins de 100 mètres des pixels bâtis. Les pixels bâtis qui appartiennent à l'AMK constituent ce que nous avons appelé la Zone Urbanisée de Kinshasa (ou ZUK).

La façon dont nous avons déterminé l'AMK s'inspire d'une conception classique où la notion d'agglomération fait référence au seul critère physique de la continuité du bâti, tout en considérant un seuil qui définit cette continuité spatiale. Ce seuil, généralement compris entre 50 et 200 mètres, est fixé à 200 mètres pour la présente étude. Dans le cadre de nos traitements, c'est la cartographie évolutive de cette AMK – de 1979 et 2015 – qui a été réalisée.

Les paramètres spatiaux pris en compte portent sur les densités de population et sur le caractère plus ou moins fragmenté de l'occupation « bâti ». La densité de population est un paramètre classique pour analyser les trajectoires d'extension urbaine (Bertraud, 2004). Il est bien connu que la densité diminue lorsque la distance au centre-ville s'accroît (Muth, 1969 ; Alonso, 1964). En parallèle, dans un territoire donné, la densité évolue au fil du temps. Une évaluation de ce paramètre à Kinshasa, en fonction du temps dans la ZUK, l'AMK et l'étendue provinciale permettra de mieux clarifier la tendance d'évolution densimétrique de cette ville.

Afin de compléter l'approche densimétrique, nous avons étudié la fragmentation des occupations du

sol par le calcul d'un indice de saturation. Cet indice, généralement utilisé en écologie du paysage (McGarigal et Marks, 1994), rend compte de la part d'une occupation du sol sur une superficie donnée. Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé cet indice afin de suivre la saturation en bâti de l'AMK et de la Ville-Province. Pour ce faire, nous avons simplement calculé le ratio entre, d'une part la surface de la ZUK et, d'autre part, les surfaces de l'AMK et de la Ville-Province.

III. RÉSULTATS

A. Classification des occupations du sol

La Figure 3 reprend une composition colorée en fausse couleur de notre périmètre d'études. Plusieurs classes d'occupation du sol y sont visuellement discernables. Il s'agit notamment des zones couvertes par la végétation. Elles correspondent aux zones agricoles et naturelles qui se trouvent en périphérie de la ville ainsi que dans la zone humide à proximité du fleuve. Le sol nu apparaît dans une coloration marron foncée qui devient

plus claire et parfois rose dans la zone périurbaine et entre les espaces bâtis. Le bâti est la principale occupation du sol dans la partie centrale de la ville, où elle apparaît prioritairement dans une coloration violette. Le bâti devient peu dissociable du sol nu à mesure que l'on s'éloigne du centre vers la zone périurbaine, où l'on aperçoit une combinaison du violet-rose au violet-marron clair pour le bâti moins dense et discontinu. Dans la zone périurbaine, les observations sont rendues difficiles en raison de la discontinuité du bâti dans un espace majoritairement non-bâti et très souvent dénudé. Enfin, les surfaces d'eau se distinguent facilement par leur coloration bleue caractéristique.

Le regroupement des classes en post-classification a permis de ne retenir que quatre classes d'occupation du sol. Rappelons qu'il s'agit des classes suivantes : les sols bâtis, les sols nus, les sols végétalisés et l'eau. Ce sont ces quatre classes qui ont été vérifiées et validées. Pour reconstituer l'étendue globale étudiée pour l'année 2005 et rendre comparables nos variables, la superficie correspondant aux rayures a été redistribuée proportionnellement à chaque

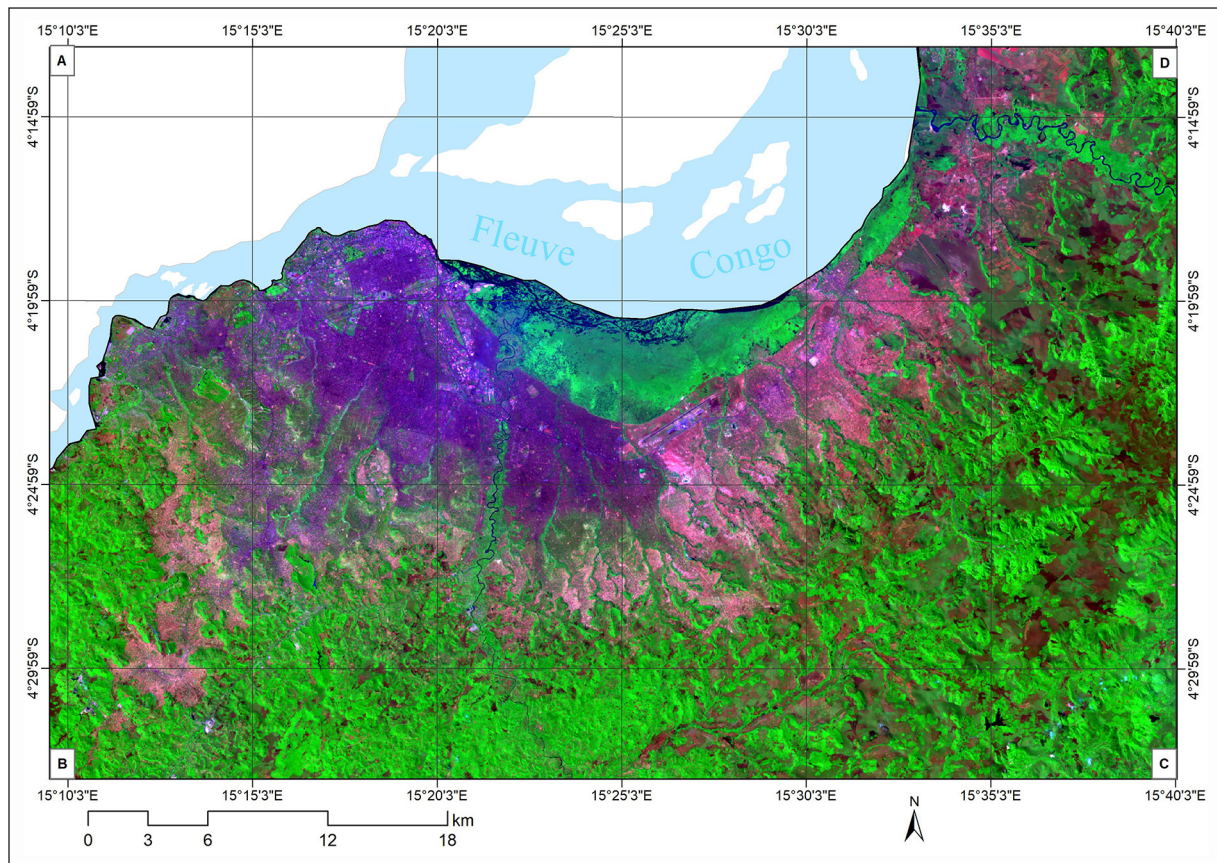


Figure 3. Région de Kinshasa en composition colorée fausses couleurs. *Source* : LANDSAT 2015 (SRC : UTM zone 33S)

classe d'occupation du sol. Les résultats des classifications des quatre années prises en compte sont présentés à la Figure 4 pour les deux occupations des sols bâtis et des sols nus.

Les classifications pour les quatre années ont été réalisées et validées par les mêmes procédures. Les Tableaux 2 à 5 synthétisent les résultats relatifs à la validation de ces classifications. Les résultats les moins robustes sont relatifs à l'année 2005, ce qui résulte vraisemblablement des rayures générées suite à la panne du système de contrôle d'alignement des points échantillonnés survenue en 2003 (voir le Tableau 1 et la Figure 4c ci-dessous).

1. Validation de la classification de 1979

La matrice de confusion en 1979 (Tableau 2) montre que la classification réalisée est bonne à 88,74 % (coefficient Kappa) avec une précision globale de 92,57 %. Dans cette classification, des classes de sols nus, de sols végétalisés et d'eau ont

été identifiées avec des précisions du producteur de 91,43 %, 95,58 % et 100 % respectivement. La classe de sols bâtis a, quant à elle, une précision du producteur de 88,42 %. Cette classe a donc été omise au profit des autres classes à hauteur de 11,58 %. Ce constat est confirmé par l'observation des précisions de l'utilisateur pour cette classification. On observe ainsi que les classes de sols bâtis, de sols végétalisés et d'eau ont des précisions de l'utilisateur respectivement de 96,55 %, 99,08 % et 100 %. La classe des sols nus présente plutôt une précision de l'utilisateur de 68,00 %. Cela indique que de nombreux pixels classés dans cette classe correspondent en réalité à d'autres occupations du sol, dont principalement les sols bâtis.

2. Validation de la classification de 1995

L'évaluation de la matrice de confusion de l'image de 1995 (Tableau 3) renseigne que la classification réalisée est bonne à 78,74 % et que sa précision globale est de 86,24 %. Dans cette classification,

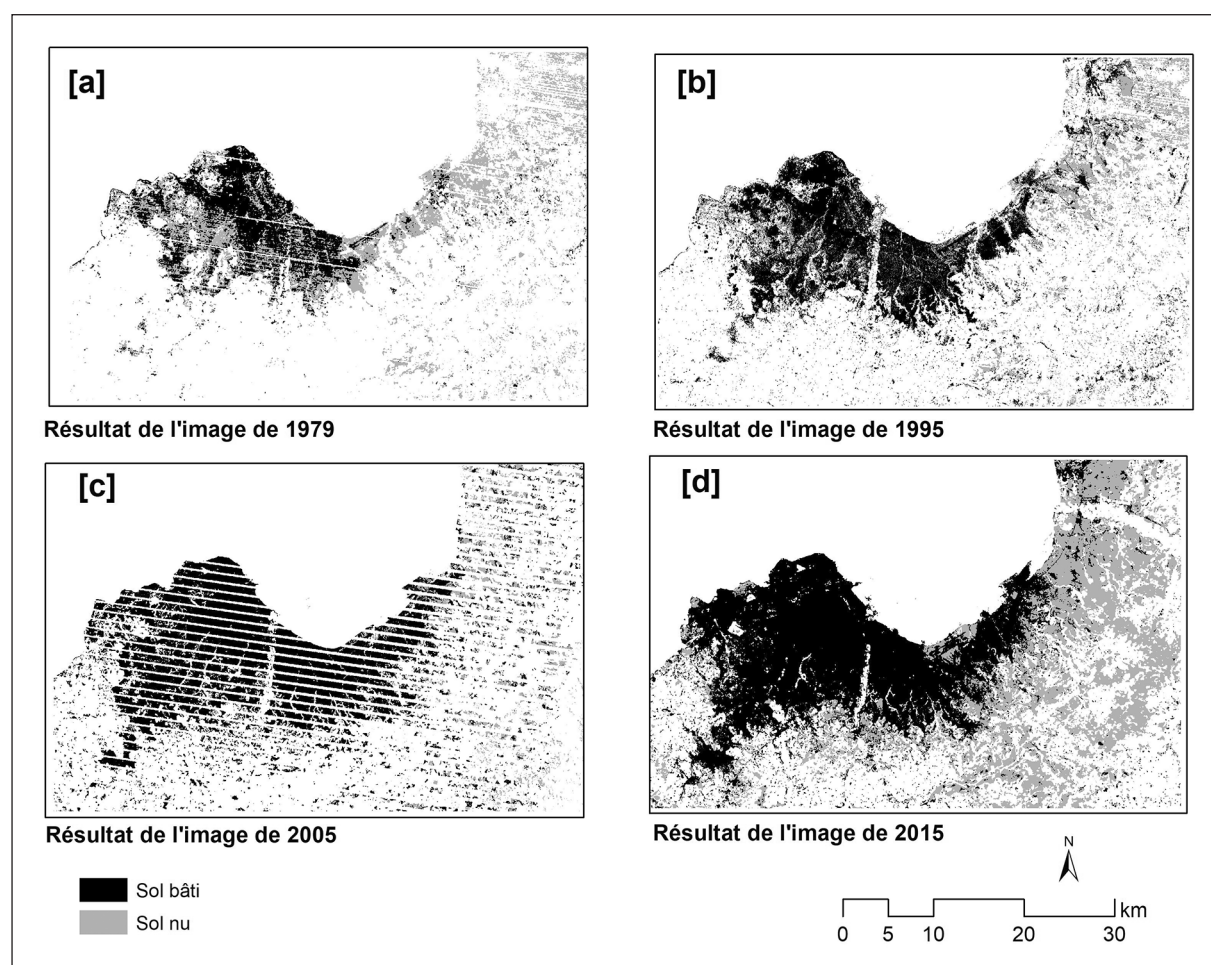


Figure 4. Résultats des quatre images LANDSAT pour les occupations du bâti et du sol nu. *Source* : LANDSAT (SRC : UTM zone 33S)

Année : 1979		Données de référence				Nombre	P _u (%)	E _c (%) 100-P _u	CK _i
		Sol bâti	Sol nu	Végétation	Eau				
Données classées	Sol bâti	84	3	0	0	87	96,55	3,45	0,88
	Sol nu	10	32	5	0	47	68,00	32,00	0,74
	Végétation	1	0	108	0	109	99,08	0,92	0,95
	Eau	0	0	0	13	13	100	0,00	1,00
Nombre		95	35	113	13	256	PPBC (%) = 92,57		
P _p (%)		88,42	91,43	95,58	100		CK (%) = 88,74		
E _c (%) 100-P _p		11,58	8,57	4,42	0,00				

Note méthodologie : CK_i est le coefficient Kappa pour la classe « i », E_c est l'erreur de commission, E_o est l'erreur d'omission, P_u est la précision de l'utilisateur et P_p est la précision du producteur, PPBC est la précision globale et CK est le coefficient Kappa global

Tableau 2. Matrice de confusion et métriques de qualité

Année : 1995		Données de référence				Nombre	P _u (%)	E _c (%) 100-P _u	CK _i
		Sol bâti	Sol nu	Végétation	Eau				
Données classées	Sol bâti	72	10	1	0	83	85,71	14,29	0,77
	Sol nu	8	25	2	0	35	65,79	34,21	0,62
	Végétation	4	3	84	0	91	94,38	5,62	0,88
	Eau	0	0	2	7	9	77,77	22,23	0,87
Nombre		84	38	89	7	218	PPBC (%) = 86,24		
P _p (%)		86,75	71,43	92,30	100		CK (%) = 78,94		
E _c (%) 100-P _p		13,25	28,57	7,70	0,00				

Tableau 3. Matrice de confusion et métriques de qualité

on observe des précisions du producteur respectivement de 92,30 % et 100 % pour les classes de sols végétalisés et de l'eau. Les classes de sols bâtis et de sols nus ont, quant à elles, des précisions du producteur de 86,75 % et 71,43 %. Ces classes, dans cette classification, ont été influencées par les autres classes. Les pixels de sols bâtis ont un pourcentage d'omission de l'ordre de 13,25 %, alors que la plus forte omission (28,57 %) est liée à la classe des sols nus. L'observation des précisions de l'utilisateur pour les différentes classes confirme la tendance des confusions. Les classes de sols bâtis, de sols végétalisés et de l'eau ont des précisions de l'utilisateur respectivement de 85,71 %, 94,38 % et 77,77 %. La classe des sols nus présente, pour sa part, une précision de l'utilisateur de 65,79 %. Cette faible précision de l'utilisateur pour la classe des sols nus renseigne sur la proportion de pixels attribués à cette classe (34,21%), mais appartenant réellement à d'autres. Des excédents sont également perçus dans les autres classes à hauteur de 14,29 %,

5,62 % et 22,23 % respectivement pour les sols bâtis, les sols végétalisés et l'eau.

3. Validation de la classification de 2005

En 2005, la matrice de confusion (Tableau 4) présente une classification avec un niveau de qualité évalué à 64,06 % et une précision globale de 76,07 %. Ce niveau de qualité faible, en comparaison des autres images, nécessite des précautions pour l'usage de l'image de 2005. Néanmoins, les précisions du producteur sont respectivement de 84,90 % et 100 % pour des classes de sols végétalisés et d'eau. Ces dernières montrent peu de confusion comparé aux classes de sols bâtis (69,70 %) et de sols nus (78,20 %). Les précisions de l'utilisateur des différentes classes de sols bâtis (89,24 %), de sols végétalisés (84,90 %) et d'eau (100 %) renseignent des excédents d'attribution plus faibles comparativement à la classe des sols nus dont la précision de l'utilisateur est de 53,09 %.

Année : 2005		Données de référence				Nombre	P _u (%)	E _c (%) 100-P _u	CK _i
		Sol bâti	Sol nu	Végétation	Eau				
Données classées	Sol bâti	83	10	0	0	93	89,24	10,76	0,60
	Sol nu	30	43	8	0	81	53,09	46,91	0,49
	Végétation	6	2	45	0	53	84,90	15,10	0,80
	Eau	0	0	0	7	7	100	0,00	1,00
Nombre		119	55	53	7	234	PPBC (%) = 76,07		
P _p (%)		69,70	78,20	84,90	100		CK (%) = 64,06		
E _c (%) 100-P _p		30,30	21,80	15,10	0,00				

Tableau 4. Matrice de confusion et métriques de qualité

L'excédent d'attribution dans cette dernière classe est évalué à une proportion de 46,91 % des pixels appartenant à *fortiori* à d'autres classes, contre 10,76 % pour les sols bâtis, 15,10 % pour les sols végétalisés et une proportion nulle de pixels excédentaires attribués à la classe eau.

4. Validation de la classification de 2015

Pour les traitements relatifs à l'image de 2015 (Tableau 5), la classification s'est avérée de bonne qualité, avec un coefficient d'association Kappa de 83,44 %. En parallèle, la précision globale est de 89,38 %. De manière plus détaillée, les classes relatives à la végétation et à l'eau ont une excellente précision du producteur, de 98,90 % et 100 % respectivement. Les classes de sols bâtis et de sols nus ont, quant à elles, des précisions du producteur respectives de 82,83 % et 81,25 %. Ces deux dernières classes ont donc été plus ou moins influencées par les classes voisines. Dans ces deux classes, on observe des déficits respectifs de l'ordre de 17,17 % et 18,75 %, contre 1,10 % pour la classe de sols végétalisés et une absence de confusion

pour la classe d'eau. L'observation de la précision de l'utilisateur pour la classe de sols nus n'est que de 60 %. Elle montre que cette classe est excédentaire à 40 %, c'est-à-dire que de nombreux pixels classés comme sols nus correspondent en réalité à d'autres occupations du sol. Les autres classes affichent par contre de meilleures précisions avec 93,18 % pour les sols bâtis et 100 % pour les sols végétalisés et l'eau. Ainsi, le choix du bâti est excédentaire à 6,82 %, alors que les sols végétalisés et l'eau ont été parfaitement classés.

5. Dynamique d'occupation du sol et effet des confusions sur l'analyse de l'évolution de l'AMK

Les résultats obtenus des classifications permettent d'évaluer la dynamique d'occupation du sol. Ainsi, le Tableau 6 ci-dessous permet d'appréhender la dynamique des changements d'occupation du sol entre 1979 et 2015 dans la région de Kinshasa. Ce tableau quantifie l'occupation du sol à partir des superficies échangées dans l'étendue prise en compte. Il montre que le bâti est passé de 130,8 à 326,7 km² entre 1979 et 1995, soit un gain d'environ 196 km²

Année : 2015		Données de référence				Nombre	P _u (%)	E _c (%) 100-P _u	CK _i
		Sol bâti	Sol nu	Végétation	Eau				
Données classées	Sol bâti	82	6	0	0	88	93,18	6,82	0,79
	Sol nu	17	26	1	0	44	60	40	0,70
	Végétation	0	0	90	0	90	100	0,00	0,99
	Eau	0	0	0	4	4	100	0,00	1,00
Nombre		99	32	91	4	226	PPBC (%) = 89,38		
P _p (%)		82,83	81,25	98,90	100		CK (%) = 83,44		
E _c (%) 100-P _p		17,17	18,75	1,10	0,00				

Tableau 5. Matrice de confusion et métriques de qualité

Classes	Années				Changements (km ²)		
	1979	1995	2005	2015	1979 à	1995 à	1979 à
	km ²	km ²	km ²	km ²	1995	2015	2015
Bâti	130,8	326,7	401,1	535,6	196,0	208,9	404,8
Sol nu	163,7	198,8	298,5	330,6	35,0	131,9	166,9
Végétation	1309,9	1151,7	742,7	705,8	-185,3	-445,8	-604,1
Eau	3,3	3,2	3,1	3,0	-0,8	-0,1	-0,2

Tableau 6. Dynamique d'occupation du sol entre 1979 et 2015

en 16 ans. Sur la même période, la végétation a perdu environ 185,3 km², en passant de 1310 à 1152 km². La période suivante (1995-2015) est marquée par une forte perte de la végétation, de l'ordre de 446 km². Durant cette période, la catégorie « sols végétalisés » est passée de 1152 à 706 km². Durant l'ensemble de la période prise en compte, la catégorie des espaces végétalisés a perdu 604 km² et les superficies bâties ont progressé d'environ 405 km².

L'évaluation des classifications effectuées à partir des matrices d'erreur révèle cependant des confusions entre les classes d'occupation du sol pour l'ensemble de la série d'images traitées. Lesdites confusions sont chaque fois marquantes pour les classes de sols bâtis et de sols nus. Il s'agit là d'un problème qui affecte particulièrement les zones périurbaines. Comme nous venons de l'indiquer, la classification y est rendue difficile par une grande variabilité des occupations à micro-échelle. Le suivi des trajectoires d'extension spatiale du milieu urbain à partir de ces résultats reste cependant crédible. En effet, la cartographie de l'AMK est réalisée à un niveau supérieur à la classe et les erreurs interclasses ne se répercutent pas au niveau de l'étendue globale.

B. Trajectoire d'extension spatiale de l'agglomération morphologique de Kinshasa

La Figure 5 permet de suivre l'extension de l'AMK depuis 1979. En plus de l'occupation du sol, cette figure intègre les tracés actuels des voies ferrées, du réseau routier et de l'hydrographie, représentée par le fleuve Congo et ses affluents.

L'analyse cartographique révèle que l'AMK de 1979 est limitée à la partie ouest de l'AMK de 2015. En d'autres termes, depuis 1979, la croissance spatiale de Kinshasa a été asymétrique. L'AMK de 1979 intègre le centre-ville et la configuration du réseau routier de cette partie de l'agglomération a

déterminé les formes de l'extension urbaine entre l'indépendance et 1979. En 1995, l'AMK commence à s'étendre vers l'est, autour de l'aéroport de N'djili. Cette expansion spatiale vers l'est s'est ensuite accélérée et elle se poursuit entre 2005 et 2015. Expliquer le déplacement du centre de gravité de l'agglomération vers l'est est simple. Il résulte simplement des contraintes géographiques à l'urbanisation. Au nord et à l'ouest, la ville est bloquée par le cours du fleuve Congo. Vers le sud, l'expansion urbaine est possible mais le relief y est nettement plus tourmenté qu'à l'est.

La superficie de l'AMK est passée de 29 047 ha en 1979 à 82 707 ha en 2015 (Tableau 7). Cela représente une croissance moyenne annuelle de 2,95 % (Tableau 8). En 1979, l'AMK ne représentait que 2,9 % de l'étendue administrative de Kinshasa. Cette proportion a progressivement augmenté au cours du temps pour atteindre 4,9 % en 1995, 6,6 % en 2005 et 8,3 % en 2015. Entre 1979 et 1995, le taux de croissance annuel de l'AMK est de 3,29 % (Tableau 8). En valeurs absolues, cela représente une croissance annuelle de 957,58 ha. De 1995 à 2005, la croissance relative baisse à 3,02 %, mais la croissance absolue augmente (1476,24 ha d'AMK supplémentaire chaque année). La tendance à la baisse du taux de croissance relative de l'AMK continue entre 2005 et 2015. Dans cette période, la croissance relative se réduit à 2,32 % par an, mais la croissance absolue continue de progresser, avec une moyenne annuelle de 1525,52 ha.

S'agissant de la comparaison entre l'évolution de l'AMK et des surfaces urbanisées (ZUK), les données rassemblées dans le Tableau 8 conduisent à différencier deux périodes. Entre 1979 et 1995, la croissance relative des surfaces urbanisées est plus importante que la croissance relative de l'agglomération. Par contre, entre 1995 et 2015, la tendance s'est inversée. Ces résultats indiquent

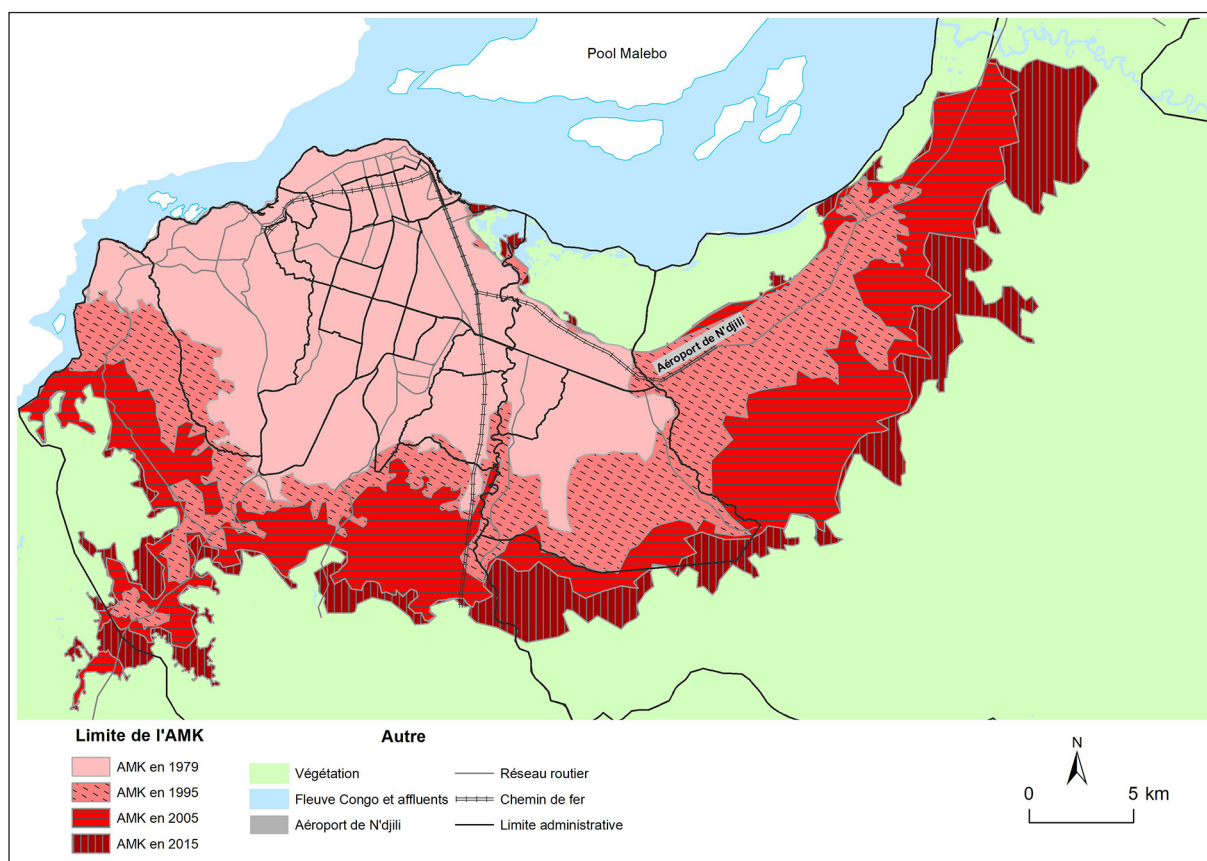


Figure 5. Évolution de l'agglomération morphologique de Kinshasa (AMK) entre 1979 et 2015. *Source* : LANDSAT (SRC : UTM zone 33S)

	1979	1995	2005	2015
S_{ZUK} (ha)	13 083,40	32 667,39	40 107,83	53 555,65
S_{ou} (ha)	15 963,19	16 139,15	25 649,17	29 151,83
S_{AMK} (ha)	29 046,59	48 806,54	65 757,01	82 707,48
P_{prov} (AMK) (%)	2,9	4,9	6,6	8,3

Note méthodologie : S_{ZUK} est la superficie des pixels « sol bâti », S_{ou} est la superficie des espaces ouverts urbanisés, S_{AMK} est la superficie de l'AMK, P_{prov} (AMK) est le rapport entre la superficie de l'AMK et la superficie de l'étendue provinciale (9965 km²).

Tableau 7. Évolution de l'urbanisation morphologique entre 1979 et 2015

	1979-1995		1995-2005		2005-2015		1979-2015	
	ZUK	AMK	ZUK	AMK	ZUK	AMK	ZUK	AMK
TCA (ha)	707,04	957,58	677,24	1476,84	1176,65	1525,52	522,37	856,69
TCA (%)	5,89	3,29	2,07	3,02	2,03	2,32	3,99	2,95

Tableau 8. Taux de croissance annuel (TCA) de l'AMK et des pixels « sols bâtis » (ZUK)

que la période 1979-1995 s'est caractérisée par un phénomène de « remplissage » de l'agglomération par l'urbanisation des espaces ouverts urbanisés.

C. Évolution des densités et de la saturation urbaine à Kinshasa

La Figure 6 synthétise nos résultats quant à l'évolution des densités urbaines. Notre approche différencie trois mesures de la densité. Ces trois mesures sont basées sur trois dénominateurs distincts et sur un même numérateur, en l'occurrence le volume de population de la Ville-Province de Kinshasa. Pour la densité par rapport à la superficie de la Ville-Province, le calcul correspond simplement au ratio entre la population de l'entité en question et sa superficie. Pour les quatre années prises en compte, seule la population a évolué dans ce calcul. Par contre, pour les deux autres mesures, les superficies, c'est-à-dire les dénominateurs, ont évolué. Il s'agit, dans le premier cas, de la superficie de l'AMK et, dans le second cas, de la superficie de la ZUK. Bien sûr, selon cette approche, la densité de la Ville-Province est systématiquement inférieure à la densité de l'AMK qui, à son tour, est systématiquement inférieure à la densité de la ZUK.

Pour ces deux dernières mesures, il existe un biais

methodologique qui induit une surestimation des valeurs. En effet, une partie de la population de la Ville-Province réside en dehors de l'AMK et, a fortiori, en dehors de la ZUK. Pour autant, vu la faiblesse relative des peuplements en dehors de l'agglomération centrale de Kinshasa, ce biais methodologique n'apparaît pas susceptible de remettre en cause nos principales conclusions.

La densité établie pour la ZUK présente l'avantage de ne pas tenir compte des grandes zones inoccupées dans les périphéries de la Ville-Province ni même des espaces ouverts urbanisés. En ce sens, elle est beaucoup plus proche des densités vécues sur le terrain par les habitants. Par exemple, la densité de la population en 2015 est de 140 hab./ha si l'on considère l'ensemble de l'agglomération, mais elle double quand on ne tient compte que de la zone urbanisée (ZUK), pour s'élever à 289 hab./ha. Sans conteste, ce chiffre illustre mieux la réalité vécue et perçue par les habitants des quartiers de Kinshasa.

Suite à la stabilité de ses limites et à la croissance absolue de la population qui l'habite, la Figure 6 révèle une évolution linéaire des densités par rapport à l'étendue administrative de Kinshasa. Par

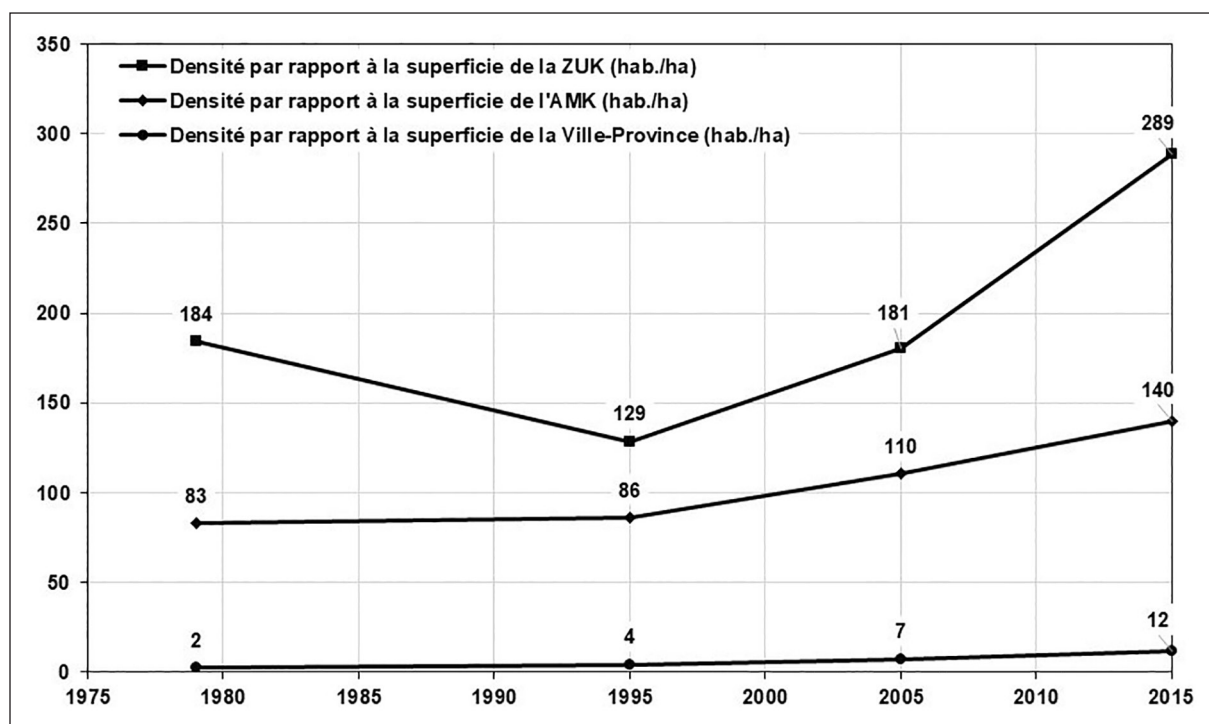


Figure 6. Évolution des densités de population (hab./ha) au sein de la Ville-Province de Kinshasa. Sources : Calcul des auteurs sur la base de données LANDSAT et de l'INS

Note méthodologique : vu la faible qualité de l'image correspondante, les résultats de 2005 sont moins fiables que ceux des autres années.

contre, au cours du temps, les superficies de la ZUK et de l'AMK évoluent, tout comme leurs densités. Entre 1979 et 1995, on note une décroissance des densités de la zone urbanisée et une stagnation des densités de l'agglomération. Afin d'expliquer ces évolutions, nous pouvons supposer que le remplissage de l'agglomération qui a caractérisé la période 1979-1995 a permis de la peupler sans pour autant accroître les densités des quartiers préexistants. Par contre, depuis 1995, la tendance générale est clairement à la densification résultant de la disparition progressive des espaces ouverts urbanisés, et donc de la difficulté croissante de créer massivement de nouveaux espaces bâtis sans étendre l'extension spatiale de l'agglomération.

Nous avons indiqué ci-dessus qu'il existe une évolution planétaire vers la dédensification des agglomérations. Cette tendance générale, mise en exergue par les travaux d'Angel *et al.* (2010), ne s'applique plus à Kinshasa depuis la décennie 1990. La prise en compte des conclusions dressées par Angel et ses collègues permet de comprendre pourquoi la situation de la capitale de la RDC échappe à la tendance générale. Premièrement, rappelons que la tendance vers la dédensification est générale sans pour autant être systématique. En effet, les analyses d'Angel *et al.* ont montré que la dédensification est observée dans les 32 villes étudiées appartenant au groupe des pays développés, mais qu'elle n'est observée que dans 77 des 88 villes étudiées appartenant au groupe des pays en voie de développement. En parallèle, les modèles de régression calibrés afin d'expliquer la diversité des situations montrent que la tendance vers la dédensification est, d'une part, directement proportionnelle à la croissance des revenus et, d'autre part, inversement proportionnelle aux taux de croissance démographique. Or, Kinshasa est une ville qui conjugue de fortes croissances démographiques à une stagnation des revenus qui limite la motorisation et, en conséquence, les vitesses de déplacement dans l'espace urbain. Concrètement, cela empêche les kinois d'accéder physiquement à suffisamment de terrains pour y induire une dédensification globale. S'agissant de Kinshasa, la barrière à l'urbanisation que représente le fleuve Congo ainsi que les problèmes de congestion et de dégradation des infrastructures de transport contribuent également à priver les kinois d'un accès à un foncier susceptible d'induire une dédensification globale. Au final, il n'est guère étonnant que la si-

tuation de cette mégapole particulièrement pauvre s'écarte de la situation observée dans la plupart des villes prises en compte par les analyses de l'équipe rassemblée autour de S. Angel.

La Figure 7 porte sur les indices de saturation urbaine à l'échelle de la Ville-Province et à l'échelle de l'AMK. Rappelons que cet indicateur correspond simplement au ratio entre la superficie de la ZUK et la superficie des deux zones de référence. Il peut être appréhendé comme un indicateur de la fragmentation des tissus bâtis et il représente une valeur sans dimension comprise entre 0 et 1. Afin de l'interpréter, il faut considérer que lorsqu'une étendue présente une faible saturation du bâti ($IS < 0,5$), sa fragmentation ou la présence des espaces ouverts est plus importante, et inversement.

À l'échelle de l'AMK, l'indice de saturation en 1979 est de 0,45, ce qui correspond à une forte fragmentation. Après cette date, on note une hausse de l'indice, observable par la pente positive (Figure 7) qui progresse jusqu'en 1995. Cette évolution témoigne du fait que la période 1979-1995 est caractérisée par le remplissage des espaces ouverts urbanisés. Après 1995, l'indice de saturation se stabilise dans une fourchette comprise entre 0,61 (en 2005) et 0,67 (en 1995). Le fait que l'indice de saturation se stabilise à des niveaux relativement faibles s'explique vraisemblablement par l'expansion continue de l'agglomération. En effet, la proportion d'espaces ouverts urbanisés est particulièrement importante dans les espaces nouvellement conquis par l'agglomération.

CONCLUSIONS

Le décalage entre l'explosion démographique qu'a connu Kinshasa lors des dernières décennies et le peu d'informations disponibles sur les modalités de sa croissance urbaine nous ont poussés à développer la recherche synthétisée dans cet article. Afin d'améliorer les connaissances sur les trajectoires d'extension urbaine de la deuxième ville d'Afrique sub-saharienne, nous nous sommes appuyés sur les techniques de la télédétection et des systèmes d'information géographiques. Nos résultats illustrent le fait que ces techniques permettent de développer des méthodes robustes pour l'étude de la croissance des tissus urbains. Dans ce travail, les données issues de la télédétection ont été intégrées dans une démarche méthodologique ayant conju-

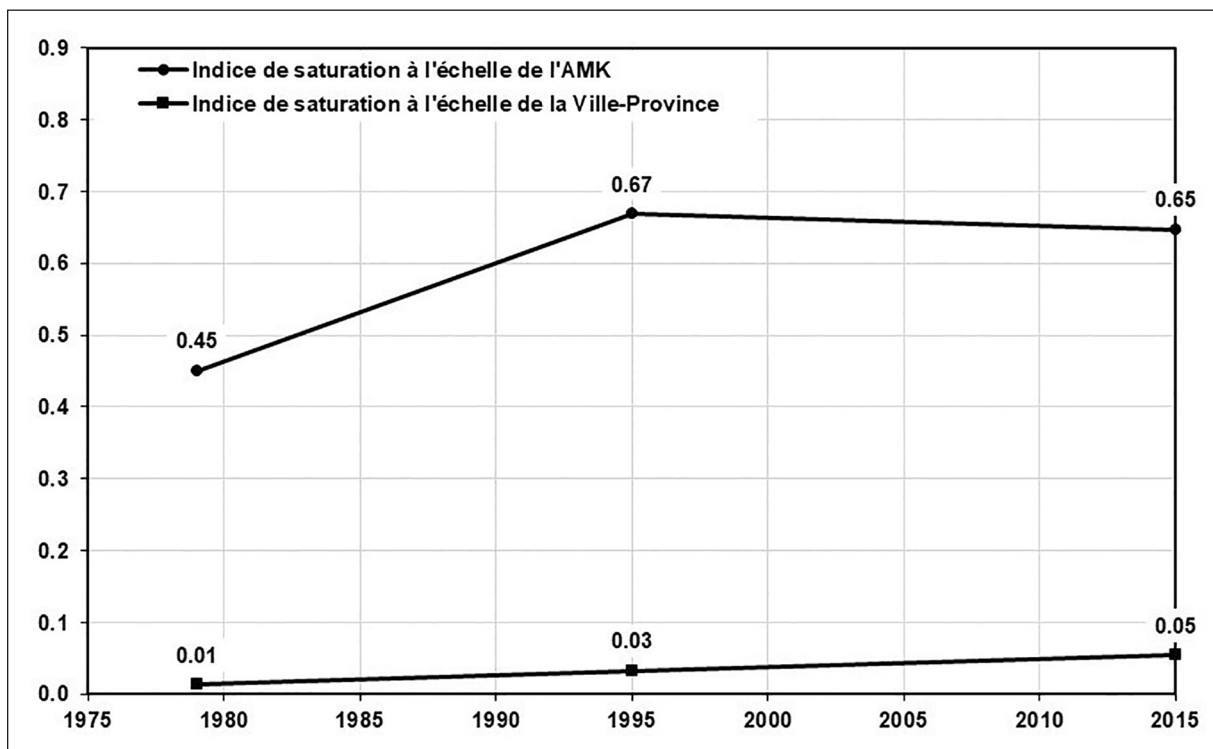


Figure 7. Évolution des indices de saturation au sein de la Ville-Province de Kinshasa. Sources : Calcul des auteurs sur la base de données LANDSAT et de l'INS

Note méthodologique : vu la faible qualité de l'image correspondante, les résultats de 2005 sont moins fiables que ceux des autres années.

gué une analyse densimétrique à une analyse de la fragmentation du bâti.

Notre recherche s'est appuyée sur l'utilisation de quatre jeux d'images LANDSAT, à partir desquelles nous avons opéré des classifications supervisées pour caractériser les occupations du sol. Cette approche s'est avérée opérante pour produire une cartographie évolutive de la tache urbaine de Kinshasa entre 1979 et 2015. Pour autant, la variabilité micro-locale des occupations du sol au sein des espaces périurbains – avec un entremêlement de sols végétalisés, de sols nus et de sols urbanisés –, y donnent des classifications moins explicites qu'au sein des territoires plus anciennement et plus complètement urbanisés.

La classification supervisée employée pour caractériser les occupations du sol a permis de délimiter l'agglomération morphologique de Kinshasa et d'élaborer une cartographie de son étendue urbaine à différentes dates. Nous considérons que ce résultat peut être utile à de futurs travaux qui nécessiteraient une vision objective de l'urbanisation morphologique kinoise. À ce propos, nous pensons tant à des travaux appliqués dans le cadre de la

réalisation de schémas d'aménagement qu'à des recherches scientifiques qui nécessiteraient de lier les phénomènes étudiés à la période d'urbanisation des lieux où ils sont observés. Par exemple, dans le cadre de travaux en cours, nous étudions le sujet des mobilités et des accessibilités en analysant les temps d'accès au centre-ville vis-à-vis de l'époque à laquelle l'urbanisation s'est installée.

Nos analyses sur la quantification des changements survenus au cours du temps confirment que Kinshasa a fait l'objet d'une croissance spatiale très rapide, en particulier dans les espaces situés à l'est du noyau urbain. L'AMK a connu une évolution de l'ordre de 309,34 % en 36 ans ! Sur la base de l'étendue étudiée, il apparaît également que les espaces végétalisés à la périphérie de la ville ont régressé de plus de 50 % au profit de la ville qui s'étale. Cette évolution est bien sûr préjudiciable tant pour les activités agricoles que pour les services écosystémiques susceptibles d'être rendus par les zones végétalisées.

Notre approche méthodologique nous a également permis de clarifier la problématique de l'évolution des densités. Nous voudrions ici souligner deux

résultats principaux. Le premier est que, lors des deux dernières décennies prises en compte (la période 1995-2015), Kinshasa se différencie du modèle général de dédensification des agglomérations (Angel *et al.*, 2010). Cette situation résulte de causes multiples qui ont limité l'accessibilité physique des kinois à la ressource foncière : la très forte croissance de la population, la saturation des infrastructures routières, la pauvreté urbaine et la faible motorisation à laquelle elle est associée... Il est vraisemblable que le niveau de densification que nous avons mesuré résulte de deux tendances opposées correspondant, d'une part, à une densification extrême de certains quartiers centraux et, d'autre part, à des extensions périphériques de faibles densités (Angel *et al.*, 2011 et 2016). Malheureusement, les données disponibles ne nous permettent pas de préciser ce sujet car les seules sources démographiques qui apparaissent fiables sont des données à l'échelle de la Ville-Province. Afin de plus finement spatialiser les évolutions densimétriques, il faudrait disposer de l'évolution démographique aux échelles des communes et des quartiers, ce qui apparaît malheureusement impossible vu la faible qualité de l'appareil statistique en RDC.

Concernant l'étude des densités, le second résultat que nous voudrions mettre en avant est la rupture de tendance que nous observons en 1995. Entre 1979 et 1995, Kinshasa connaît plutôt une période de dédensification (en tout cas des tissus bâtis). Cela s'explique par un double phénomène d'extension de l'agglomération et de remplissage de ses interstices non bâtis. Depuis 1995, le constat de la densification est clair. D'un côté, l'extension spatiale continue à un rythme soutenu mais, d'un autre côté, le phénomène de remplissage a cessé. Manifestement, à l'intérieur du périmètre de l'agglomération, les ressources foncières des espaces ouverts urbanisés se raréfient et leur urbanisation représente désormais un phénomène marginal.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de Gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT) et l'Université de Liège (ULiège) à travers le Centre de Partenariat pour la Coopération au Développement (PACODEL) pour leur contribution financière et l'encadrement scientifique.

BIBLIOGRAPHIE

- Alonso, W. (1964). *Location and Land Use*. Cambridge, MA : Harvard University Press.
- Angel, S., Cievco, D. & Blei, A. (2016). *Atlas of Urban Expansion* (Vol. 1 : area and Density). Accra: New York : New York University, Nairobi : UN-Habitat, and Cambridge, MA : Lincoln Institute of Land Policy, 2016.
- Angel, S., Cievco, D. & Blei, A. (2011). *Making room for a planet of cities*. Cambridge : Lincoln Institute of Policy.
- Angel, S., Parent, J., Civco, D. & Blei, A. (2010). *The Persistent Decline in Urban Densities : Global and Historical Evidence of 'Sprawl'*. Cambridge : Lincoln Institute of Land Policy.
- Bertraud, A. (2004). *The Spatial Organization of Cities : Deliberate Outcome or Unforeseen Consequence?* . Berkeley : University of California.
- Champaud, J., Chaume, R., Dessay, N., Diarra, B. & Kamdem, S. (1997). Analyse comparée de la dynamique spatiale des villes de Bamako (Mali) et de Garoua (Cameroun) à partir d'images satellitaires et de données auxiliaires. (AUPALF-UREF, Éd.) *La réalité de terrain en télédétection : pratiques et méthodes*, 217-224.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- Congalton, R. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46.
- Congalton, R. & Gren, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data : Principles and Practices* (éd. 2nd). Boca Raton, London, New York : CRC Press.
- Congalton, R. & Gren, K. (1999). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data : Principles and Practices*. Lewis Publishers.
- De Saint Moulin, L. (2010). *Ville et organisation de l'espace en République Démocratique du Congo*. Paris : L'Harmattan.
- Donnay, J.-P., Barnsley, M. J. & Longley, P. A. (2001). *Remote Sensing and Urban Analysis*. London and New York : Taylor & Francis.
- Flouriot, J. (2008). Congo RDC : Population et Aménagement d'un Immense Pays. *Population et Avenir*; 2 (687), 4-8.
- Fumunzanza, M. J. (2008). *Kinshasa d'un quartier à l'autre*. Paris : L'Harmattan.
- Hall, F., Strebel, D., Nickson, J., Goetz, S. (1991). Radiometric rectification : towards a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*, 35, 11-27.
- Halleux, J.-M. (2015). Les territoires périurbains et leur développement dans le monde : un monde en voie d'urbanisation et de périurbanisation, pp 43-62,

- In. Bogaert J., Halleux J.-M. (Edition.), *Territoires périurbains : développement, enjeux et perspectives dans les pays du Sud*, Les presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, 304 p.
- INS (2015). *Annuaire statistique 2014*. Kinshasa: RDC, Ministère du Plan et Révolution de la Modernité, Institut Nationale de la Statistique.
- Jensen, J. (1986). *Introductory digital image processing : a remote sensing perspective*. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Hall.
- Kabamba, K. (2014). L'étalement urbain à Kinshasa : contenu et enjeux de l'organisation urbaine. *Cahiers congolais de l'aménagement et du bâtiment* (3), 10-28.
- Katalayi Mutombo, H. (2015). *Urbanisation et fabrique urbaine à Kinshasa : défis et opportunités d'aménagement*. Bordeau III, 2014. Frensh: Géographie. Université Michel de Montaigne.
- Kayembe wa Kayembe, M., Ngoy, A., Mpinda, M., Misilu, E. & Wolff, E. (2016). Contribution of Remote Sensing in the Estimation of the Populations Living in Areas with Risk of Gully Erosion in Kinshasa (D.R. Congo). Case of Selembao Township. *American Journal of Geosciences*, 71-79.
- Kayembe wa Kayembe, M. & Wolff, E. (2015). Contribution de l'approche géographique à l'étude des facteurs humains de l'érosion ravinante intra-urbaine à Kinshasa (R.D. Congo). *GEO-ECO-TROP*, 39(1), 119-138.
- Kayembe Wa Kayembe, M., De Maeyer, M. & Wolff, E. (2009). Cartographie de la croissance urbaine de Kinshasa (R.D. Congo) entre 1995 et 2005 par télédétection satellitaire à haute résolution. *Belgeo*, 439-455.
- Landis, J. & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Lelo Nzuzi, F. (2018). *Les bidonvilles de Kinshasa*. Paris : L'Harmattan.
- Lelo Nzuzi, F. (2011). *Kinshasa : Planification et Aménagement*. Paris : L'Harmattan.
- Lelo Nzuzi, F. (2008). *Kinshasa : Ville et Environnement*. Paris : L'Harmattan.
- McGarigal, K. & Marks, B. (1994). *Fragstats, Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structures*. Corvallis : Forest Science Department, Oregon State University.
- Mouafo, D. (2000). Télédétection radar et délimitation des formes urbaines : Application à la ville de Douala au Cameroun. *Ressources naturelles Canada, Géomatique Canada*, 71-84.
- Muth, R. (1969). *Cities and Housing*. Chicago : University of Chicago Press.
- Njoh, A. (2003). *Urban planning housing and spatial structures in Sub-Saharan Africa*. Aldershot, UK : Ashgate.
- SOSAK (2014). *Schéma d'orientation stratégique de l'agglomération kinoise et plan particulier d'aménagement de la zone nord de la ville*. Kinshasa : RDC, Gouvernement provinciale de Kinshasa.
- Trefon, T. (2000). Population et pauvreté à Kinshasa. *Afrique contemporaine. Afrique Contemporaine*, 194, 82-89.
- Tsayem Demaze, M. & Trebouet, A. (2010). Cartographie et évaluation multi-échelle de l'étalement urbain à l'aide d'images Spot XS : Exemple du Mans (Ouest-France). *Article en ligne. Nov 2008, Tananarive, Madagascar*. <halshs-00457689>, 1-11.
- UN-Habitat (2010). *Rapport annuel 2010*. Nairobi: Nations Unies.
- Useni, S., Cabala, K., Halleux, J.-M., Bogaert, J. & Munyemba, K. (2018). Caractérisation de la croissance spatiale urbaine de la ville de Lubumbashi (Haut-Katanga, R.D. Congo) entre 1989 et 2014. *Tropicultura*, 36(1), 99-108.
- United States Geological Survey (2016). *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*. Sioux Fall, South Dakota : USGS.
- Watson, V. (2009). The planet city sweeps the poor away,...* : Urban planing and the 21st century urbanisation. *Progress in Planning*, 72, 151-193.
- Wolff, E. & Delbart, V. (2002). Extension urbaine et densité de la population à Kinshasa : contribution de la télédétection satellitaire. *Belgeo(1)* 1-14.
- Xiaojun, Y. (2011). *Urban Remote Sensing : Monitoring, Synthesis and Modeling in the Urban Environment*. Chichester : John Wiley & Sons, Ltd.

Coordonnées des auteurs :

Jean-Pierre MESSINA NDZOMO
Service de Géographie Économique (ECOGEO)
Université de Liège
Belgique
Ecole Régionale Postuniversitaire d'Aménagement
et de Gestion Intégrés des Forêts et Terri-
toires tropicaux (ERAIFT)
Université de Kinshasa,
République Démocratique du Congo
jpmessina@doct.uliege.be et messindzo@gmail.com

Kouagou Raoul SAMBIENI
Laboratoire Ville-Territoire-Paysage (LabVTP)
Université de Liège
Belgique
Ecole Régionale Postuniversitaire d'Aménagement
et de Gestion Intégrés des Forêts et Terri-
toires tropicaux (ERAIFT)
Université de Kinshasa,
République Démocratique du Congo

Philippe MBEVO FENDOUNG
Dynamique de l'environnement et risques
Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines
(FALSH)
Université de Yaoundé 1
Cameroun

Jean-Pierre MATE MWERU
Ecole Régionale Postuniversitaire d'Aménagement
et de Gestion Intégrés des Forêts et Terri-
toires tropicaux (ERAIFT)
Université de Kinshasa,
République Démocratique du Congo

Jan BOGAERT
Gembloux Agro-Bio Tech
Université de Liège
Belgique
Ecole Régionale Postuniversitaire d'Aménagement
et de Gestion Intégrés des Forêts et Terri-
toires tropicaux (ERAIFT)
Université de Kinshasa,
République Démocratique du Congo

Jean-Marie HALLEUX
Service de Géographie Économique (ECOGEO)
Université de Liège
Belgique

