

Long-term mapping of urban areas using remote sensing - Application of deep learning using case-studies of data from Central Africa

**PhD Candidate – Nicholus Mboga, Promotor – Eléonore Wolff (Prof),
Co-supervisor – Tais Grippa (PhD)**

Abstract

Urbanisation has had a profound impact in sub-Saharan Africa and can be attributed to the complex human-environment interaction. Knowledge on long-term urbanisation processes in sub-Saharan Africa is lacking. Besides, understanding the urbanisation process in sub-Saharan Africa necessitates to go beyond the global scale to the local scale to unravel the idiosyncrasies in the growth of each city. The perennial lack of data (or data meeting required specifications) is a bottleneck to such studies. Very often, the nature of the available data might present challenges to existing classification algorithms. Moreover, availability of adequate and well-curated reference datasets presents a bottleneck to the generation of accurate land-cover maps.

The main aim of this research was to conduct a long-term analysis of urbanisation patterns in Central Africa by developing methodologies based on deep learning, a class of Artificial Intelligence. To this end, we address the main research question: “How can we understand long-term urbanisation patterns by applying deep learning on digital aerial images in Central Africa?” We used case-studies from three cities in Central Africa namely Goma and Bukavu in The Democratic Republic of Congo and Bujumbura in Burundi, to aid in understanding the urbanisation process in sub-Saharan Africa. We generate baseline data from an archive of historical panchromatic orthomosaics that allow for the capturing of the urbanisation before the onset of rapid urbanisation that was characteristic of Countries in sub-Saharan Africa after gaining independence from colonialism.

The main contribution of this thesis is the 60-year long-term analysis of urbanisation patterns for three cities in Central Africa using a unique dataset of historical orthomosaics. The growth patterns and driving forces are analysed using spatial and qualitative data. The results show that social triggers such as wars drive urban expansion. On the contrary, biophysical drivers such as geohazards did not limit urban growth only slowing down settlements for a short time span of the analysis. As urbanisation levels increased, constraining effects of natural environment such as relief on urban expansion weakened.

In addition, we make some methodological developments based on deep learning to generate land-cover from historical panchromatic orthomosaics (i.e., 1m spatial resolution) and sub-metric RGB aerial images (i.e., 0.175m). Results show that deep learning methods generally have high accuracy metrics, compared to standard machine learning baselines, but at the cost of high demand for a large and accurate, labelled dataset and computational resources. In addition, accurate and sufficient labelled data are still needed to guarantee accurate land-cover maps from deep learning algorithms and novel strategies need to be pursued in approaches investigating insufficient reference data.

Résumé

L'urbanisation a eu un impact profond sur l'Afrique subsaharienne et peut être attribuée à l'interaction complexe entre l'homme et l'environnement. Les connaissances sur les processus d'urbanisation sur des temps longs font défaut. En outre, pour comprendre le processus d'urbanisation en Afrique subsaharienne, il faut aller au-delà de l'échelle mondiale et s'intéresser à l'échelle locale pour comprendre les particularités de la croissance de chaque ville. L'éternel manque de données (ou de données répondant aux spécifications requises) constitue des limitations de telles études. Très souvent, la nature des données disponibles peut présenter des défis pour les algorithmes de classification existants. De plus, la disponibilité d'ensembles de données de référence adéquats et fiables constitue un goulot d'étranglement pour la création de cartes précises de l'occupation des sols.

L'objectif principal de cette recherche était de mener une analyse sur des temps longs des différentes modes d'urbanisation en Afrique centrale en développant des méthodologies basées sur le *deep learning*, une forme d'intelligence artificielle. A cette fin, nous répondons à la question de recherche suivante : "Comment pouvons-nous comprendre les modes d'urbanisation sur des temps longs en appliquant des approches de *deep learning* sur des images aériennes numériques en Afrique centrale ?". Nous avons étudié trois villes d'Afrique centrale, à savoir Goma et Bukavu en République démocratique du Congo et Bujumbura au Burundi, de manière à comprendre le processus d'urbanisation en Afrique subsaharienne. Nous pouvons générer des données de base à partir de mosaïques d'orthophotographies aériennes panchromatiques historiques qui permettent de saisir l'urbanisation avant le début de l'urbanisation rapide ayant caractérisé les pays d'Afrique subsaharienne depuis leur indépendance.

La principale contribution de cette thèse est l'analyse, sur 60 ans, des modes d'urbanisation pour trois villes d'Afrique centrale en utilisant un ensemble unique d'orthomosaiques historiques. Les modes et les facteurs de croissance y sont analysés en utilisant des données spatiales et qualitatives. Les résultats montrent que les déclencheurs sociaux tels que les guerres étaient positivement corrélés à l'expansion urbaine. Au contraire, les facteurs biophysiques tels que les risques associés aux catastrophes naturelles n'ont pas empêché la croissance urbaine mais ont seulement ralenti les nouvelles implantations pendant une courte période de l'analyse. Par ailleurs, à mesure que les niveaux d'urbanisation augmentent, les effets contraignants de l'environnement naturel tels que le relief sur l'expansion urbaine s'affaiblissent.

De plus, certaines avancées méthodologiques ont été accomplies en explorant et en développant une méthodologie basée sur le *deep learning* pour générer une carte de la couverture du sol à partir d'orthomosaiques panchromatiques historiques (1m) et d'images aériennes RVB sub-métriques (0.175m). Les résultats montrent que les méthodes de *deep learning* présentent généralement des indicateurs de précision élevés par rapport aux méthodes standard basées sur *machine learning*, mais au prix d'une grande demande en matière de données étiquetées et de ressources informatiques. En outre, des données étiquetées précises et en quantité suffisante sont toujours nécessaires pour garantir l'exactitude des cartes de l'occupation du sol établies par les algorithmes de *deep learning*, et de nouvelles stratégies doivent être mises en œuvre dans le cas de travaux ne disposant que de données de référence insuffisantes.