

SIMULATION GÉOPROSPECTIVE DE L'OCCUPATION DES SOLS ET DE L'ÉTALEMENT URBAIN : LE CAS DE LA VILLE DE TANGER (MAROC) À L'HORIZON 2020

Rachid RAGALA

Université Paris-Sorbonne Paris IV Laboratoire CAMS-CNRS-EHESS, UMR 8557 (Paris)

Courriel : rachid.ragala@paris-sorbonne.fr

RÉSUMÉ

L'urbanisation est un phénomène mondial et son accélération est sans précédent, surtout dans les pays en voie de développement. Cette problématique de la croissance urbaine est au cœur des préoccupations de la géographie et des sciences économiques et sociales. Les modèles relatifs à la formation de la ville, aux réseaux urbains, au fonctionnement, à la configuration et à l'évolution des espaces urbanisés ont fait l'objet de nombreuses recherches (Vanderschuren & Galaria, 2003 ; Bailly, 1999 ; Derycke *et al.*, 1996 ; Pumain, 1997 ; Harris & Ullman, 1945 ; Hoyt, 1939 ; Robert *et al.*, 1925).

Aujourd'hui, la géoprospective territoriale bénéficie de progrès considérables dans le domaine de la géographie, de la modélisation, et de la prévision (Houet *et al.*, 2016). La simulation des changements s'appuie sur de nombreux modèles tels que *SLEUTH*, classé parmi les automates cellulaires dédiés à la simulation de l'expansion urbaine (Clarke & Gaydos, 1998 ; Jantz *et al.*, 2003), *Land Change Modeler* (LCM) dédié à la simulation des changements liés à l'occupation et à l'utilisation des sols, ou encore *NEDUMES-2D*, modèle qui repose sur une approche économique de l'expansion urbaine (Eastman, 2009 ; Houet *et al.*, 2015 ; Aguejdad *et al.*, 2016).

Le sujet de l'étude concerne la dynamique spatio-temporelle de la ville de Tanger au Maroc (**Planche 1**). Deux questions majeures ont motivé cette recherche : à partir de données satellitaires, comment appréhender la dynamique des changements dans le temps et dans l'espace, compte tenu des facteurs favorables ainsi que des contraintes qui influent sur l'état d'occupation des sols ? Quel modèle utiliser pour la cartographie des changements et pour la simulation géoprospective de l'étalement urbain ?

Pour tenter de répondre à ces questions, une chaîne méthodologique a été mise au point (**Figure 1**). Elle repose sur trois étapes majeures :

- cartographie (**Planches 2, 3, 4**) et quantification des changements entre les types d'occupation des sols pour une période de temps donnée (**Tableaux 1, 2, 3**) ;
- mesure et évaluation des évolutions potentielles par le calcul de la probabilité des changements des catégories d'occupation du sol, selon la dynamique constatée entre la période passée et l'état présent, avec la prise en compte des facteurs favorables ou contraignants ;
- identification et géolocalisation simulée des surfaces candidates au changement en fonction des transitions potentielles de l'étape précédente.

Pour la mise en œuvre, le choix a été fait d'expérimenter le modèle LCM « *Land change modeler* »⁴ (Eastman 2009) du fait de sa disponibilité dans le logiciel Idrisi et des possibilités qu'il offre en termes d'analyse spatiale. Il permet, en effet, d'associer des données multisources et multitudes : imagerie satellitaire relatives à l'occupation des sols, données topographiques comme la pente et l'altitude, ou encore réseaux hydrographique et de transport. Le modèle LCM est paramétré de façon à permettre non seulement de cartographier et de quantifier les changements entre deux dates, mais aussi de traduire spatialement les tendances (**Planches 5 et 6**) et les évolutions futures de l'étalement urbain (**Planches 7 et 8**).

L'expérimentation et la validation de la simulation qualitative et quantitative sur la ville de Tanger (Maroc) repose sur une chaîne de traitements qui s'appuie sur une exploitation combinée de la télédétection et des SIG pour assurer la permanence des observations géographiques, et qui a le mérite d'être reproductible et généralisable à d'autres lieux. Dans de nombreuses études spatio-temporelles réalisées avant 2011, la validation statistique des changements a reposé sur l'indice Kappa, indice approprié pour les tableaux de contingence. Or, dans le cas des données géolocalisées, la précision doit être double : aussi bien sur la quantité des pixels bien classés que sur leur localisation. Il

4. Modèle développé dans le logiciel Idrisi (actuellement appelé TerrSet) par Clark Labs, Clark University USA.

s'avère que l'indice Kappa ne permet pas de distinguer clairement entre erreur de quantification et erreur de localisation. Aussi, a-t-il été choisi de tester l'alternative proposée par Pontius (2011) afin de mesurer, à l'échelle du pixel, la concordance et les erreurs en termes d'omission et de commission. Au final, le résultat est très satisfaisant : les erreurs d'omission et de commission sont égales à 0,14, et les erreurs totales de localisation et de quantité sont respectivement égales à 0,4 et 0,1 (**Tableaux 5a, 5b, 5c**). Ceci démontre la performance et la bonne capacité du modèle LCM à simuler correctement les évolutions futures bien qu'il conduise à une plus grande fragmentation spatiale et une surestimation quantitative (Aguejda *et al.*, 2016).

Malgré quelques limites, le modèle LCM est parfaitement adapté au suivi des changements et à la simulation des dynamiques spatio-temporelles. Ce type d'approche ouvre de nouveaux champs d'investigation quant aux impacts de l'urbanisation sur l'espace urbain, périurbain ou rural. En effet, les processus de minéralisation et de fragmentation des espaces périurbains surconsommation des terres à haute qualité agronomique et environnementale, perturbent la biodiversité des écosystèmes, dégradent le patrimoine et les paysages « naturels », et aggravent les risques d'inondation et de pollution. Ce type d'investigation peut également être utilisé pour évaluer le surcoût engendré par l'étalement urbain en termes d'infrastructures et de services - transport, gestion des déchets, besoins en eau potable et en énergie. L'analyse et la cartographie des tendances de changement observées ou attendues constituent

une aide à l'élaboration de scénarios géostratégiques en matière de planification du développement territorial. La base de données générée par cette approche géoprospective constitue une source d'informations essentielle lors des opérations de planification urbaine, par exemple. Outre les cartes, la vidéo de la simulation de l'étalement urbain futur représente un moyen de communication convainquant. La spatialisation et la visualisation des changements conduisent, avec beaucoup plus de force, aux questionnements sur la tendance et le rythme des bouleversements observés, et poussent à la réactivité en termes de prise de décision. Cette approche spatio-temporelle de la dynamique des changements permet non seulement d'appréhender de façon géolocalisée les impacts futurs de l'étalement urbain sur le paysage, mais aussi de mettre en lumière les risques qui pourraient être engendrés par le déferlement urbain, notamment en termes de qualité de vie et de biodiversité. Il est indéniable que les technologies géospatiales et les développements méthodologiques en géomatique ouvrent de nouvelles voies de professionnalisation de la géographie. Dans ce contexte, ce type d'application est une aide précieuse aux acteurs territoriaux de la ville, notamment en termes d'évaluation, de projection et de gestion des espaces urbanisés, dans la perspective d'un développement territorial durable.

MOTS-CLÉS

Étalement urbain, Occupation des sols, Modélisation spatiale, Télédétection, Analyse spatio-temporelle, Tanger, Maroc

LISTE DES TABLEAUX, FIGURE ET PLANCHES

Tableaux

Tableau 1. *Pertes et gains observés entre 2000 et 2005 (en ha)*

Tableau 2. *Transitions vers l'espace urbanisé entre 2000 et 2005*

Tableau 3. *Pertes et gains observés entre 2005 et 2009 (en ha)*

Tableau 2. *Transitions vers l'espace urbanisé entre 2005 et 2009*

Tableau 5a. *Quantités et proportions : référence 2009 et simulation 2009*

Tableau 5b. *Concordance de localisation et erreurs de commission et d'omission*

Tableau 5c. *Erreurs totales de localisation et de quantités*

Figure

Figure 1. *Schéma de la démarche méthodologique*

Planches

Planche 1. *Tanger : ville avec une localisation stratégique dans le détroit de Gibraltar*

Planche 2. *Tanger : carte de l'occupation du sol en 2000*

Planche 3. *Tanger : carte de l'occupation du sol en 2005*

Planche 4. *Tanger : carte de l'occupation du sol en 2009*

Planche 5. *Tanger : tendance et intensité de l'urbanisation entre 2000 et 2005*

Planche 6. *Tanger : tendance et intensité de l'urbanisation entre 2005 et 2009*

Planche 7. *Tanger : Occupation du sol en 2020, simulation sans contraintes*

Planche 8. *Tanger : Occupation du sol en 2020, simulation avec contraintes*