

Simulation de scénarios d'urbanisation pour estimer l'impact écologique du développement résidentiel et des évolutions de trafic associées

Marc Bourgeois, Cécile Tannier, Jean-Christophe Foltête

Laboratoire ThéMA
UMR 6049 CNRS - Université de Franche-Comté

Mots-clefs - croissance urbaine, scénarios de développement résidentiel, simulation de trafic, graphes paysagers, écologie du paysage, réseau écologique, connectivité

Contexte et problématique

La maîtrise de l'étalement urbain représente actuellement une préoccupation majeure en aménagement face au nombre important de nuisances induites par le phénomène. Sur le plan paysager, la croissance des villes se produit aux dépens des milieux naturels et agricoles, ce qui contribue à la fragmentation et à la réduction des habitats de la faune sauvage. Il est donc souhaitable de trouver un compromis entre les implantations résidentielles et la connectivité des habitats écologiques afin d'assurer la durabilité des populations animales. La recherche de ce compromis suppose une concertation entre les différents acteurs de l'aménagement du territoire et de l'environnement. Dans ce contexte, une question centrale est de savoir quelles formes de villes sont les plus aptes à maintenir la fonctionnalité des réseaux écologiques. L'étude de cette question peut se fonder sur une approche de simulation prospective. Cette approche permet de proposer différentes alternatives d'aménagements possibles en simulant différents scénarios d'évolution urbaine de manière théorique (Mörtberg et al., 2007 ; Tannier et al., 2012a) ou réaliste (Aguilera et al., 2011). Nous partons du postulat que la création de scénarios réalistes plutôt que théoriques est préférable pour comparer précisément les impacts écologiques potentiels de différentes formes de croissance urbaine, notamment par la prise en compte des modifications de trafic sus-

ceptibles de résulter du développement résidentiel.

Notre principale hypothèse est que l'impact écologique de la croissance urbaine est plus important pour des scénarios favorisant l'étalement urbain. Pour ce type de scénario, le niveau de déconnexion des réseaux écologiques est a priori plus élevé que dans le cas d'un développement urbain compact. Notre deuxième hypothèse est que les scénarios présentant une densité bâtie locale élevée sont davantage favorables au maintien des réseaux écologiques.

Méthodologie

L'évaluation prospective de l'impact écologique de la croissance urbaine implique de combiner deux approches méthodologiques :

- La simulation prospective de nouvelles implantations résidentielles et des évolutions de trafic résultantes
- La modélisation des réseaux écologiques

Il s'agit ensuite de montrer dans quelle mesure les différentes formes de croissance urbaine impactent les réseaux écologiques des espèces animales de la zone d'étude. La zone d'étude est l'aire urbaine de Besançon, située à l'est de la France.

Simulation de scénarios de croissance urbaine

A partir d'une carte d'occupation du sol en mode raster, la simulation prospective de la croissance urbaine consiste à transformer l'état de certaines cellules non bâties (espaces agricoles ou forestiers notamment) en cellules bâties. Ces transformations s'effectuent en fonction de règles permettant de simuler l'application de différents modèles de villes (ville compacte, diffuse, ou fractale), ainsi que de règles d'accessibilité (proximité aux routes, accessibilité aux espaces ouverts, accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne et hebdomadaire).

Les scénarios de croissance urbaine ont été établis pour répondre à des normes d'aménagement réalistes : nombre total de logements construits chaque année, nombre de logements par commune en fonction de leur taille, proportion de logements individuels et collectifs. Certaines zones sont non urbanisables (surfaces en eau, zones inondables, emprise des routes...), auxquelles peuvent s'ajouter différentes restrictions ou incitations établies dans des documents réglementaires d'aménagement de type PLU (Plan locaux d'urbanisme) ou SCoT (Schémas de cohérence territoriaux).

Cinq scénarios d'urbanisation ont été simulés afin de proposer des formes urbaines différenciées :

- Scénario 1 : développement résidentiel dense et compact (ville compacte)
- Scénario 2 : développement résidentiel modérément dense et compact (ville modérément compacte)
- Scénario 3 : développement résidentiel localement dense et globalement diffus (périurbain régulé)
- Scénario 4 : développement résidentiel localement peu dense et globalement diffus (étalement urbain)
- Scénario 5 : développement résidentiel localement dense et favorisant l'accessibilité aux réseaux de transports en commun (tram et train) (Transit Oriented Development)

Pour chacun de ces scénarios de développement résidentiel, la simulation du trafic routier permet ensuite de connaître le nombre de véhicules par jour pour chaque tronçon de la zone d'étude. Ce trafic simulé vient s'ajouter au trafic de fond (poids-lourds et véhicules en transit) obtenu à l'aide de données de comptage routier.

Les scénarios d'urbanisation ont été réalisés à l'aide de l'outil logiciel MUP-City (Tannier et al., 2012b) et du module de simulation du développement résidentiel de la plateforme multi-agent MobiSim (Antoni, 2011). Les simulations de trafic sont également issues de MobiSim.

Modélisation des réseaux écologiques

La deuxième partie de ce travail consiste à modéliser les réseaux écologiques des espèces animales de la zone d'étude. Pour ce faire, les graphes paysagers représentent un bon compromis entre la précision et la quantité de données écologiques requises, et leur significativité (Urban and Keitt, 2001). Dans ces graphes, un nœud représente une tache d'habitat pour une espèce donnée. Les liens entre les taches d'habitat représentent les déplacements potentiels de l'espèce entre les taches. Un lien est créé lorsque l'espèce peut traverser la matrice qui sépare les deux taches d'habitat. Les graphes paysagers constituent le support pour calculer des métriques de connectivité des habitats écologiques à plusieurs niveaux : pour le graphe entier (connectivité globale), pour les composantes ou pour chaque élément du graphe (connectivité locale).

Puisqu'il n'est pas possible de modéliser les réseaux écologiques de toutes les espèces de la zone d'étude, une approche multi-espèces a été retenue pour ce travail. Cette approche consiste à travailler sur un nombre réduit d'espèces, susceptibles de représenter correctement l'ensemble des espèces concernées appartenant à un même

type d'habitat. Elle tient compte de certaines caractéristiques fonctionnelles des espèces.

Pour évaluer l'impact de la croissance urbaine sur chaque espèce-type, une métrique paysagère globale a été calculée pour l'ensemble de la zone d'étude. Une métrique paysagère locale a été calculée pour chaque tache d'habitat. L'évaluation de l'impact écologique consiste à mesurer, pour chaque espèce-type, la variation de la métrique entre l'état initial et l'état résultant de la simulation de chaque scénario de développement résidentiel.

La construction des graphes paysagers et le calcul des métriques de connectivité ont été réalisés avec le logiciel Graphab (Foltête et al., 2012).

Application à un cas d'étude

L'impact écologique de l'urbanisation a été étudié dans l'aire urbaine de Besançon. Hormis la périphérie proche de Besançon, cette zone est relativement peu anthropisée, et les grandes zones d'habitat semi-naturels de cet espace, y compris à proximité directe de Besançon (forêt de Chailluz) permettent la présence de nombreuses espèces animales, potentiellement menacées par l'urbanisation.

Nous disposons d'une cartographie paysagère à 10 m de résolution spatiale issue de la compilation de plusieurs bases de données (BD Topo, BD zones humides, Registre Parcellaire Graphique). Cette carte permet de caractériser l'occupation du sol en treize classes.

La simulation des cinq scénarios de croissance urbaine modifie cette carte d'occupation du sol en transformant des espaces naturels ou agricoles en zones urbanisées. Chaque classe d'occupation du sol est pondérée par une valeur de coût représentant la plus ou moins grande facilité qu'ont les espèces animales considérées à traverser chaque type d'occupation du sol. Des valeurs de coût élevées augmentent la résistance de la matrice paysagère et limitent les déplacements potentiels des espèces entre leurs taches d'habitat (Adriaensen et al., 2003). Le coût pour traverser chaque tronçon routier de la zone d'étude varie en fonction du nombre de véhicules par jour comptabilisé (trafic de transit et trafic interne à la zone d'étude simulé avec MobiSim).

Conformément à notre hypothèse principale, les résultats obtenus montrent que l'impact écologique de la croissance urbaine est plus important pour les scénarios favorisant l'étalement urbain. Inversement, la ville compacte semble être la forme urbaine limitant le plus l'impact écologique de la croissance urbaine. Les variations des impacts écologiques entre les différents scénarios sont relativement faibles, contrairement à ce qui a pu être observé pour des scénarios théoriques (Tannier et al., 2012a). Les changements de trafic observés entre chaque scénario sont un facteur déterminant pour la prise en compte de l'impact écologique. La simulation du développement résidentiel sans simulation de trafic montre des résultats moins différenciés pour chaque scénario. La simulation conjointe du développement résidentiel et des évolutions de trafic est donc essentielle pour prendre correctement en compte l'impact écologique de la croissance urbaine.

Références

Adriaensen, F., Chardon, J.P., De Blust, G., Swinnen, E., Villalba, S., Gulinck, H., Matthysen, E., 2003. The application of "least-cost" modelling as a functional landscape model. *Landsc. Urban Plan.* 64,

233–247.

Aguilera, F., Valenzuela, L.M., Botequilha-Leitão, A., 2011. Landscape metrics in the analysis of urban land use patterns : A case study in a Spanish metropolitan area. *Landsc. Urban Plan.* 99, 226–238.

Antoni J.-P., Tannier C., Vuidel G., Hirt-

- zel J., 2011. Mobisim. Rapport final PRE-DIT, Groupe Opérationnel n°6, Recherche 09MTCV34
- Foltête, J.-C., Clauzel, C., Vuidel, G., 2012. A software tool dedicated to the modeling of landscape networks. *Environ. Model. Softw.* 38, 316–327.
- Mörtberg, U.M., Balfors, B., Knol, W.C., 2007. Landscape ecological assessment : a tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning. *J. Environ. Manage.* 82, 457–70.
- Tannier, C., Foltête, J.-C., Girardet, X., 2012a. Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats. *Landsc. Urban Plan.* 105, 128–139.
- Tannier, C., Vuidel, G., Houot, H., Frankhauser, P., 2012b. Spatial accessibility to amenities in fractal and nonfractal urban patterns. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 39, 801–819.
- Urban, D., Keitt, T., 2001. Landscape Connectivity? : A Graph-Theoretic Perspective. *Ecology* 82, 1205–1218.