



HAL
open science

Une approche multi-espèces pour évaluer et spatialiser les impacts locaux des formes de croissance urbaine sur les réseaux écologiques

Marc Bourgeois

► **To cite this version:**

Marc Bourgeois. Une approche multi-espèces pour évaluer et spatialiser les impacts locaux des formes de croissance urbaine sur les réseaux écologiques . 13èmes Rencontres de Théo Quant, Laboratoire ThéMA, May 2017, Besançon, France. hal-01565296

HAL Id: hal-01565296

<https://hal.science/hal-01565296>

Submitted on 19 Jul 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Une approche multi-espèces pour évaluer et spatialiser les impacts locaux des formes de croissance urbaine sur les réseaux écologiques

Marc Bourgeois

Université Lyon 3 Jean Moulin – UMR Environnement Ville Société (EVS) –
5600 CNRS

Orientation : configurations paysagères, occupation du sol, écologie spatiale

Mots clés : croissance urbaine – graphes paysagers – réseaux écologiques – approche multi-espèces – impacts écologiques – connectivité locale – biologie de la conservation

1) Contexte et problématique

Depuis les années 1970, le phénomène d'étalement urbain se caractérise par des formes d'urbanisation peu denses, provoquant un important mitage des espaces périurbains. L'artificialisation des sols et l'augmentation du trafic routier ont contribué à l'altération toujours plus importante des écosystèmes naturels. Sur le plan paysager, la croissance urbaine se produit aux dépens des espaces naturels et agricoles ce qui contribue à la disparition ou à la fragmentation des habitats de la faune sauvage. Puisqu'il est impossible d'endiguer le processus de croissance urbaine, une des préoccupations majeures dans le champ de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire consiste à rechercher le meilleur compromis entre le développement résidentiel et la préservation des réseaux écologiques. Pour cela, une des approches possibles consiste à identifier les relations entre les formes d'urbanisation et la connectivité des réseaux écologiques des espèces animales. Toutefois, il apparaît dans la littérature scientifique que les relations entre la forme urbaine et les processus écologiques sont complexes (Bierwagen, 2007 ; Tratalos *et al.*, 2007, Czamanski *et al.*, 2008, Tannier *et al.*, 2012a) ce qui a été confirmé par des recherches plus récentes (Bourgeois, 2015). Ces derniers travaux de recherche ont permis d'évaluer les impacts de plusieurs scénarios prospectifs de développement résidentiel et de leurs évolutions de trafic associées sur la connectivité des réseaux écologiques de plusieurs espèces animales. Bien qu'il existe des exceptions liées aux traits fonctionnels des espèces étudiées, le scénario « Etalement urbain » apparaît comme étant globalement le scénario responsable des impacts les plus importants sur la connectivité écologique des espèces animales. Au regard de ce critère, le scénario « Ville compacte » paraît être le meilleur. Les résultats de ces travaux montrent également que quelles que soient les espèces prises en compte, l'augmentation du trafic routier lié à chaque scénario est souvent responsable de pertes de connectivité plus importantes que le seul développement résidentiel. Cependant, l'impact écologique des formes de croissance urbaine est le plus fréquemment mesuré d'un point de vue global, pour l'ensemble de la zone d'étude (Mörtberg *et al.* 2007 ; Tannier *et al.* 2012 ; Tannier *et al.* 2016). Ces résultats, bien que potentiellement intéressants pour planifier des politiques d'aménagement à l'échelle supra-communale, ne permettent pas de mettre en évidence les habitats écologiques les plus menacés par l'urbanisation. Il s'agit ici de chercher à localiser finement l'impact de différentes formes de croissance urbaine sur la connectivité des réseaux écologiques de plusieurs espèces animales dans le but de proposer des outils utiles à la mise en place de politiques de conservation de la biodiversité. Puisqu'il paraît trop réducteur de ne se focaliser que sur une espèce cible (Lindenmayer *et al.*, 2000), il est possible de se baser sur une approche multi-espèces. Cette approche permet d'identifier plusieurs groupes d'espèces représentatifs d'une zone d'étude présentant des exigences écologiques différentes (Bourgeois, 2015).

Pour mettre en place des politiques de conservation, il s'agit alors de mesurer, puis de spatialiser la connectivité écologique de ces différents groupes d'espèces.

Nous partons du postulat que la spatialisation de la connectivité écologique permet (i) d'identifier des réservoirs potentiels de biodiversité, (ii) d'identifier localement les impacts écologiques de chaque scénario et (iii) de délimiter des zones à protéger parmi les espaces les plus vulnérables.

2) Méthodologie

a) 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). Cinq scénarios d'urbanisation ainsi que leurs évolutions de trafic associées ont été simulés afin de proposer des formes urbaines différenciées à l'échelle de l'Aire Urbaine de Besançon entre 2010 et 2030 (Tannier *et al.*, 2016) :

- 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)

b) Modélisation des réseaux écologiques

La deuxième partie de ce travail consiste à modéliser les réseaux écologiques des espèces animales présentes dans la zone d'étude, composée d'un carré de 60 km de côté autour de la ville de Besançon comprenant l'intégralité de son Aire Urbaine. Pour ce faire, les graphes paysagers représentent un bon compromis entre la précision et la quantité de données écologiques requises, et leur significativité (Urban et Keitt, 2001 ; Calabrese et Fagan, 2004). 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 : la nature et la surface de leurs taches d'habitat (zones humides, espaces boisés par exemple), leur distance maximale de dispersion inter-générationnelle ainsi que leurs capacités à se déplacer dans la matrice paysagère (attribution de coûts différenciés à chaque classe d'occupation du sol).

La sélection de ces espèces a été réalisée en plusieurs étapes à l'aide de différents filtres. Dans un premier temps, ont été sélectionnées les espèces déterminantes Trame Verte et Bleue au niveau national. Ces espèces, identifiées par des chercheurs du Museum National d'Histoire Naturelle (Sordello *et al.*, 2011) peuvent être des espèces protégées et/ou présentant un intérêt écologique pour leur conservation. A partir de ces espèces, nous avons choisi celles présentes dans la zone d'étude pour lesquelles nous disposons de suffisamment d'informations pour cartographier leur habitat et leurs déplacements potentiels dans un Système d'Information Géographique. Dans un deuxième temps ces espèces ont été regroupées par milieux (milieux humides, milieux arborés...). Nous avons enfin regroupé les espèces possédant des traits de vie similaires pour obtenir au final seize groupes d'espèces représentatives de la zone d'étude. Cette sélection finale comporte par exemple un groupe d'espèces forestières à grande distance de dispersion, un groupe d'espèces de milieux ouverts à faible distance de dispersion etc.

Pour évaluer l'impact de la croissance urbaine sur chaque groupe d'espèces, une métrique paysagère globale a été calculée pour l'ensemble de la zone d'étude. L'évaluation de l'impact écologique global consiste à mesurer, pour chaque groupe d'espèces, la variation de la métrique entre l'état initial et l'état résultant de la simulation de chaque scénario de développement résidentiel (Bourgeois 2015). Pour chaque tache d'habitat, une métrique paysagère locale a été également été calculée. A l'état initial de l'urbanisation, la somme des métriques locales de chaque tache d'habitat d'un groupe d'espèce donné correspond à la valeur globale de la métrique paysagère. Après avoir calculé de nouveau cette métrique locale pour un scénario d'urbanisation donné, il est ainsi possible de mesurer la perte de connectivité imputable à ce scénario d'urbanisation, et ce, pour chaque tache d'habitat.

Dans ce travail, des graphes paysagers sont construits pour les seize groupes d'espèces ayant des taches d'habitat et des capacités de déplacements très diverses. Il n'est donc pas possible de comparer directement la connectivité locale entre leurs réseaux. Plusieurs travaux ont montré que l'on pouvait établir un lien entre le degré de connectivité local issu de la modélisation et la présence des espèces relevées sur le terrain (Awade *et al.*, 2012 ; Foltête *et al.*, 2012b ; Lookingbill *et al.*, 2010). Partant de cette relation, il apparaît pertinent de généraliser les valeurs des métriques locales calculées dans les taches (espace discret), à l'ensemble de la mosaïque paysagère (champ de valeur continu) (Foltête *et al.*, 2012b ; Galpern et Manseau, 2013). Dans le cas présent, ce type d'interpolation doit faciliter la comparaison entre les espèces ayant des réseaux écologiques différents. Il est alors possible d'obtenir une valeur de connectivité potentielle pour chaque cellule de la matrice paysagère, pour chaque groupe d'espèces. Plus les cellules sont éloignées du réseau écologique, moins leurs valeurs de connectivité potentielle sont élevées. Cette métrique de connectivité locale généralisée à l'ensemble de la mosaïque paysagère pour chaque groupe d'espèces est calculée à l'état initial, et pour chaque scénario d'urbanisation.

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 *et al.*, 2011). Les simulations de trafic sont également issues de MobiSim. La construction des graphes paysagers et le calcul des métriques de connectivité ont été réalisés avec le logiciel Graphab (Foltête *et al.*, 2012a).

3) Résultats

a) Spatialisation de la connectivité écologique à l'état initial de l'urbanisation

En raison de la diversité des espèces sélectionnées, les graphes paysagers créés à l'état initial de l'urbanisation sont différents pour chacun des groupes d'espèces. La généralisation d'une métrique de

connectivité locale à l'ensemble de la mosaïque paysagère permet de s'affranchir de ces exigences écologiques en attribuant une valeur de connectivité à chaque pixel de la zone d'étude, et ce, pour chaque groupe d'espèces. Afin d'éviter de négliger les espèces pour qui la connectivité paysagère est limitée par la configuration paysagère (certains groupes d'amphibiens par exemple), les valeurs de connectivité locale ont toutes été normalisées entre 0 et 1. Partant du principe que toutes les espèces nécessitent le même niveau de conservation, nous pouvons cartographier finement les zones présentant une bonne ou une mauvaise connectivité pour l'ensemble des groupes d'espèces étudiés. Cette carte peut également être construite différemment, en attribuant des pondérations plus ou moins importantes à chaque groupe d'espèces, au regard des priorités de conservation mises en œuvre dans l'espace étudié. Suivant le même protocole méthodologique, une nouvelle carte est créée pour l'ensemble des groupes d'espèces pour chaque scénario d'urbanisation. En calculant le taux de variation des valeurs de connectivité pour chaque pixel de la zone d'étude, entre l'état initial et chaque scénario d'urbanisation, nous disposons de cinq cartes, permettant de spatialiser les impacts écologiques imputables à chaque forme de croissance urbaine. Les résultats montrent que les impacts les plus importants sont généralement localisés à proximité des zones urbanisées. Toutefois, pour certains scénarios (ville modérément compacte par exemple), d'importantes pertes de connectivité sont mesurées dans des espaces distants de l'urbanisation simulée. Il est donc difficile d'identifier *a priori* les zones qui seront particulièrement menacées par telle ou telle forme de croissance urbaine.

b) Identification de zonages de protection

A partir des différentes cartes produites pour chaque scénario d'urbanisation, il est possible d'identifier, à l'horizon 2030, quelles sont les zones qui risquent de subir les plus importantes pertes de connectivité. Nous nous focalisons ici uniquement sur le scénario S3 (périurbain régulé) qui nous semble le plus correspondre aux politiques actuellement mise en œuvre dans l'Aire Urbaine de Besançon. Dans le cas présent, nous considérons donc qu'en dehors des zones d'urbanisation simulées, les zones subissant les plus importantes pertes de connectivité sont celles pour lesquelles les mesures de conservation semblent les plus pertinentes. Nous choisissons de retenir les zones où la perte de connectivité locale est d'au moins 10% entre l'état initial en 2010 et l'état en 2030 pour le scénario S3. En suivant l'approche multi-espèces décrite précédemment, nous partons du principe que plus la zone à conserver est grande, plus les espèces susceptibles d'habiter ou de se déplacer dans cette zone seront nombreuses. Au regard de ce critère, nous retenons alors les dix plus grands zonages. Ces dix zones nous semblent donc les plus intéressantes pour mettre en place des mesures de conservation de la biodiversité en général, sans se focaliser sur une espèce particulière. Il est ensuite possible de hiérarchiser ces zones, en les classant selon leur degré de connectivité locale à l'état initial.

Conformément à notre première hypothèse, les résultats montrent que la spatialisation de la connectivité écologique permet d'identifier des réservoirs potentiels de biodiversité, en identifiant les *hotspots* de connectivité écologique. Ces résultats sont toutefois à nuancer puisque sans données de présence/absence des espèces, il est difficile de savoir si les zones de forte connectivité correspondent bel et bien aux zones où les espèces sont les plus abondantes. Ces cartes permettent en revanche de spatialiser finement l'impact écologique de chaque scénario d'urbanisation simulé. La généralisation de métriques locales de connectivité à l'ensemble de la mosaïque paysagère peut également permettre d'identifier des zonages de protection pertinents pour l'ensemble des espèces étudiées.

Bibliographie :

Antoni JP, Tannier C, Vuidel G, Hirtzel J (2011) Mobisim. Rapport final PREDIT, Groupe Opérationnel n°6, Recherche 09MTCV34. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie, Besançon.

Awade M, Boscolo D, Metzger JP (2012) Using binary and probabilistic habitat availability indices derived from graph theory to model bird occurrence in fragmented forests. *Landscape Ecology* 27(2) : 185-198.

Bierwagen BG (2007) Connectivity in urbanizing landscapes: The importance of habitat configuration, urban area size, and dispersal. *Urban Ecosystems* 10(1) : 29-42.

Bourgeois M (2015). Impacts écologiques des formes d'urbanisation. Modélisations urbaines et paysagères. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 369 p.

Calabrese JM, Fagan WF (2004) A comparison-shopper's guide to connectivity metrics. *Frontiers in Ecology and the Environment* 2(10) : 529-536.

Czamanski D, Benenson I, Malkinson D, Marinov M, Roth R, Wittenberg L (2008) Urban Sprawl and Ecosystems — Can Nature Survive? *International Review of Environmental and Resource Economics* 2(4) : 321-366.

Foltête JC, Clauzel C, Vuidel G (2012a) A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environmental Modelling & Software* 38 : 316-327.

Foltête JC, Clauzel C, Vuidel G, Tournant P (2012b) Integrating graph-based connectivity metrics into species distribution models. *Landscape Ecology* 27(4) : 557-569.

Galpern P, Manseau M (2013) Modelling the influence of landscape connectivity on animal distribution: a functional grain approach. *Ecography* 36(9) : 1004-1016.

Lindenmayer DB, Margules CR, Botkin DB (2000) Indicators of Biodiversity for Ecologically Sustainable Forest Management. *Conservation Biology* 14(4) : 941-950.

Lookingbill TR, Gardner RH, Ferrari JR, Keller CE (2010) Combining a dispersal model with network theory to assess habitat connectivity. *Ecological Applications* 20(2) : 427-441.

Mörtberg UM, Balfors B, Knol WC (2007) Landscape ecological assessment: a tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning. *Journal of environmental management* 82(4) : 457-470.

Sordello R, Comolet-Tirman J, De Massary J, Dupont P, Haffner P, Rogeon G, Siblet JP, Touroult J, Trouvilliez J (2011) Trame verte et bleue - Critères nationaux de cohérence - Contribution à la définition du critère sur les espèces. MNHN-SPN, Paris 57 p.

Tannier C, Bourgeois M, Houot H, Foltête JC (2016). Impact of urban developments on the functional connectivity of forested habitats: a joint contribution of advanced urban models and landscape graphs. *Land Use Policy*. Vol 52. pp 76-91.

Tratalos J, Fuller RA, Warren PH, Davies RG, Gaston KJ (2007) Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning* 83 : 308-317.

Tannier C, Foltête JC, Girardet X (2012a) Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats. *Landscape and Urban Planning* 105(1-2) : 128-139.

Tannier C, Vuidel G, Houot H, Frankhauser P (2012b) Spatial accessibility to amenities in fractal and nonfractal urban patterns. *Environment and Planning B: Planning and Design* 39(5) : 801-819.

Urban DL, Keitt T (2001) Landscape Connectivity : A Graph-Theoretic Perspective. *Ecology* 82(5) : 1205-1218.