14 Mesurer et spatialiser les impacts des formes de croissance urbaine sur les réseaux écologiques pour guider des politiques d'aménagement et de conservation

Marc Bourgeois [a*]

Problématique

Face à l'impossibilité 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 le maintien de la fonctionnalité des réseaux écologiques. Cette question s'intègre désormais dans la mise en place de politiques d'aménagement du territoire soucieuses de la préservation de la biodiversité. Toutefois, la littérature scientifique montre que les relations entre la forme urbaine et les processus écologiques sont complexes (Bierwagen, 2007; Czamanski *et al.*, 2008; Tannier *et al.*, 2012; Tratalos *et al.*, 2007). Fort de ce constat, le travail de recherche présenté ici, issu de la thèse de Bourgeois (2015) cherche à évaluer l'impact potentiel des formes d'urbanisation sur la connectivité des réseaux écologiques des espèces animales. Pour cela, cinq scénarios d'urbanisation réalistes sont simulés à l'échelle de l'Aire Urbaine de Besançon. Parallèlement, les réseaux écologiques de seize groupes d'espèces différents sont modélisés sous forme de graphes paysagers à l'aide du logiciel Graphab (Foltête *et al.*, 2012). En mesurant la connectivité des réseaux écologiques de chaque groupe d'espèces, avant et après simulation de l'urbanisation, il est possible de déterminer, pour l'ensemble de la zone d'étude, quels seraient les scénarios d'urbanisation les plus favorables au maintien des réseaux écologiques des espèces ciblées. Ces résultats sont également déclinés à une échelle plus locale (commune, quartier, parcelle) afin de spatialiser ces impacts pour guider des politiques d'aménagement et de conservation.

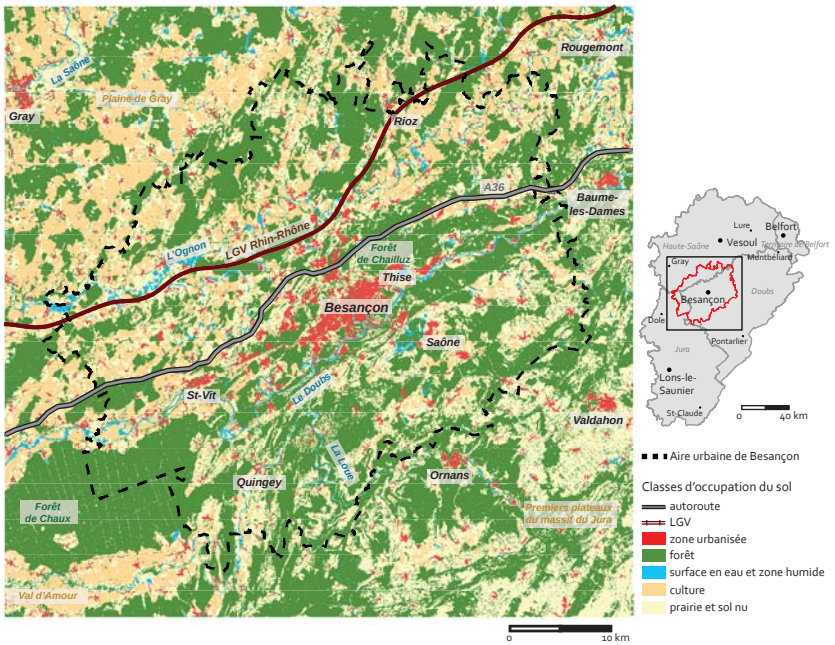


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude

Présentation zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur une partie de trois départements de la région Bourgogne-Franche-Comté : le Doubs, la Haute-Saône et le Jura. La zone, de forme carrée, comprend la ville de Besançon (117 000 habitants) et son Aire Urbaine (317 000 habitants) pour une surface totale de 3600 km² (Figure 1). Les altitudes s'élèvent depuis les plaines de Haute-Saône au Nord-Ouest (200 m) jusqu'aux premiers plateaux et moyennes montagnes du Jura (1000 m). Exceptée la ville de Besançon, la densité de population de la zone est faible avec 57 habitants par km². En revanche, les espaces naturels et agricoles sont bien représentés avec 48% de zones forestières, 25% de prairies et 16% de cultures. Ces espaces sont généralement plutôt bien connectés dans les zones rurales. Ils sont cependant menacés par une forte urbanisation des zones périurbaines de Besançon (26,5 % d'augmentation de la population entre 1999 et 2008).

Données utilisées

La simulation de nouvelles zones de développement résidentiel et des réseaux écologiques nécessite la création d'une carte précise d'occupation du sol. La carte d'occupation du sol a nécessité trois différents types de bases

de données vecteur : la BD Topo de l'IGN (2009), la BD Zones humides de la DREAL (2009) ainsi que le Registre Parcellaire Graphique (2010). Ces bases de données ont été converties en une couche raster à 10 mètres de résolution. Cette résolution représente un bon compromis entre les temps de calcul informatique et la bonne représentation des éléments linéaires tels que les haies, le réseau hydrographique et le réseau routier. Les zones urbaines (bâtiments, parkings…) ont subi un processus de dilatation-érosion de 50 m et ont été agrégées en une seule classe nommée « zones urbanisées ». Les lisières, haies et cœurs de forêts ont été obtenues à l'aide d'un traitement morphologique des zones forestières réalisé avec l'outil Guidos MSPA (Vogt *et al.*, 2007). Les pixels n'étant attribués à aucune classe d'occupation du sol ont été attribués aux classes correspondantes par photo-interprétation.

Méthode

La méthodologie générale de ce travail peut se décliner en trois grandes étapes : simulation des scénarios de développement résidentiel, modélisation des réseaux écologiques et évaluation des impacts écologiques de chaque scénario d'urbanisation.

Cinq scénarios de développement résidentiel, présentant des formes de croissance urbaine contrastées ont été simulés : ville compacte (S1), ville modérément compacte (S2), périurbain régulé (S3), étalement urbain (S4), Transit-Oriented Developpement (S5). Pour chacun de ces scénarios, le trafic potentiel, mesuré en nombre de véhicules/jour est simulé (voir Tannier *et al.* (2016) pour plus de détails).

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

Paramètres utilisés dans Graphab

Connexité	8
Taille minimale des taches	De 0 ha à 1 000 ha
Distance	De 100 m à 40 000 m
Type de distance	Dispersion
Probabilité de mouvement	0,05
Impédance	Coût
Echelle des coûts	1, 10, 50, 100, 1 000, 10 000
Topologie	Planaire

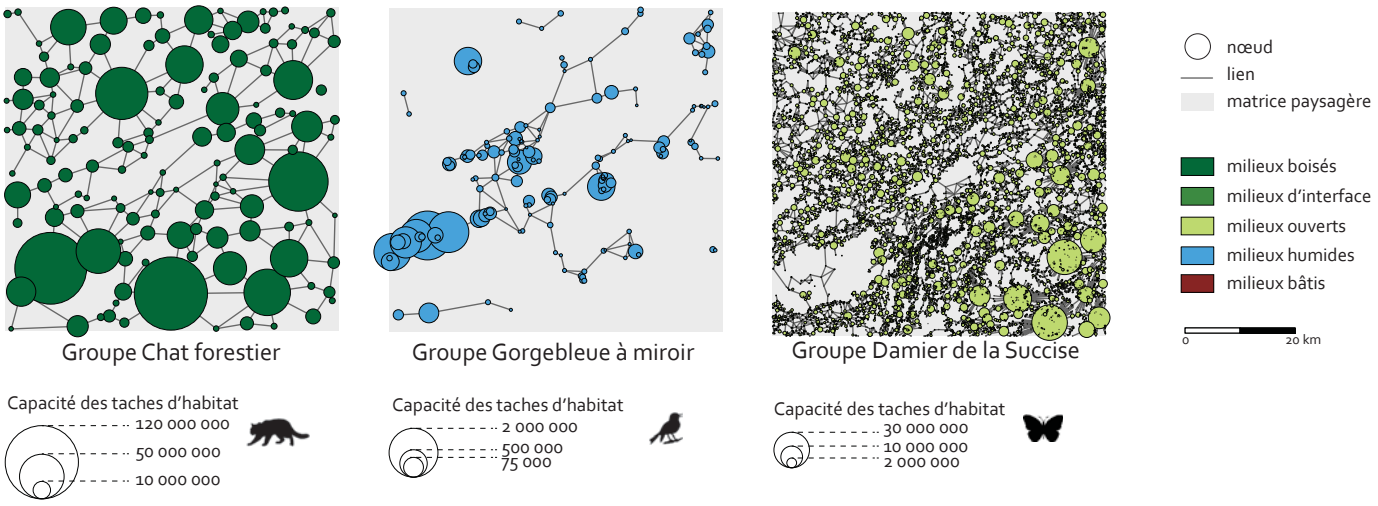


Figure 2 : Exemples de graphes paysagers modélisés pour trois groupes d'espèces aux traits écologiques différents

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 disposions 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.

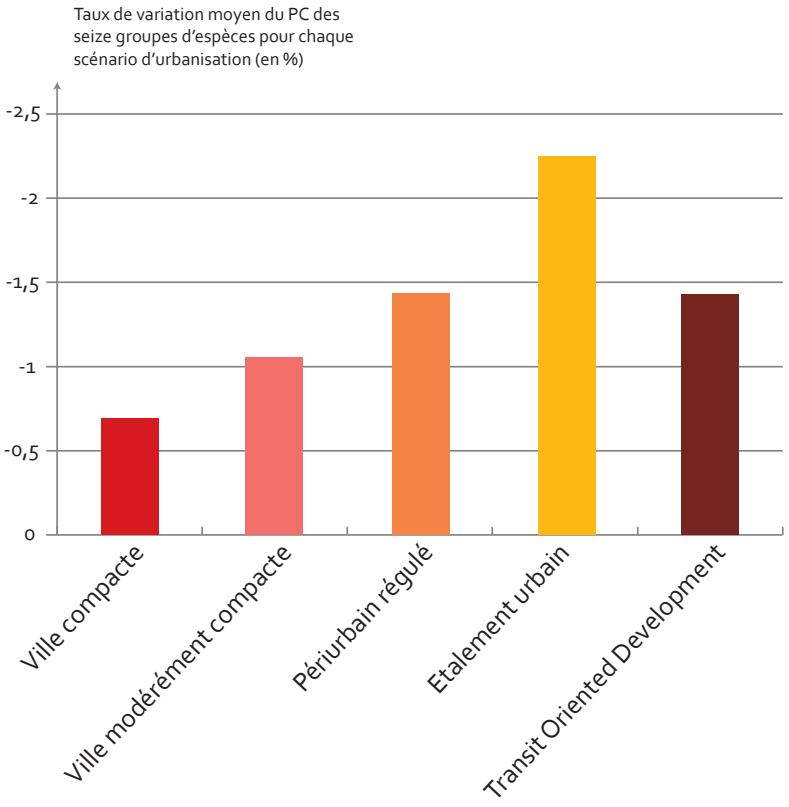


Figure 3 : Impact écologique moyen de chaque scénario d'urbanisation sur les seize groupes d'espèces sélectionnés

Une carte d'occupation du sol, ainsi que la carte de coût qui lui est associée, est réalisée pour chaque groupe d'espèces à l'état initial de l'urbanisation. Chaque scénario d'urbanisation est ajouté à la carte d'occupation du sol, ce qui modifie également la carte de coûts associée. A partir de ces cartes d'occupation du sol et de coûts, six graphes paysagers sont modélisés pour chaque groupe d'espèces : un à l'état initial de l'urbanisation, puis un pour chaque scénario d'urbanisation (Figure 2). Pour chacun de ces graphes, une métrique de connectivité globale est calculée (PC) (Saura et Pascual-Hortal, 2007). Cette métrique est déclinée localement pour chacune des taches d'habitat (PC_{Flux}) (Foltête *et al.*, 2014). Afin de pouvoir comparer les groupes d'espèces aux traits fonctionnels différents, nous avons eu recours à une interpolation de cette métrique à l'ensemble de la matrice paysagère. Chaque pixel de la carte d'occupation du sol se voit attribuer une valeur de connectivité, cette valeur diminuant lorsque l'on s'éloigne des taches d'habitat (Sahraoui *et al.*, 2017).

L'impact écologique de chaque scénario d'urbanisation est évalué de manière diachronique, pour chaque groupe d'espèces, par mesure du taux de variation de la connectivité (globale et locale) entre l'état initial et chaque scénario.

Certains paramètres utilisés dans Graphab sont communs à toutes les simulations. Les autres paramètres varient en fonction des groupes d'espèces retenus. Pour certains groupes, les cartes d'occupation du sol comportent des classes spécifiques (ex : lisières forestières ou ripisylves). Les taches d'habitat, la surface minimale des taches d'habitat et les coûts de chaque classe d'occupation du sol varient également en fonction des espèces. Le coût attribué aux routes varie en fonction du nombre de véhicules/jour simulé pour chaque scénario d'urbanisation. Les graphes paysagers sont seuillés selon la distance de dispersion maximale du groupe d'espèces, convertie en unités de coûts. Les métriques de connectivité sont paramétrées à partir de cette même valeur, calculée à l'état initial. Les métriques choisies sont PC (globale) et PC_{Flux} (locale).

Résultats

Les résultats obtenus montrent qu'à un niveau global, l'impact écologique de la croissance urbaine est plus important pour les scénarios favorisant l'étalement urbain (Figure 3). Inversement, la ville compacte semble être la forme urbaine maintenant le mieux la connectivité écologique pour les groupes d'espèces étudiés. A un niveau local, les formes de villes les plus denses sont celles qui présentent les impacts écologiques les moins importants pour la plupart des groupes d'espèces. D'une manière générale, les variations de connectivité restent faibles (diminution du PC de 1,38% en moyenne) mais permettent de différencier les scénarios et les groupes d'espèces entre eux.

Les changements de trafic observés entre chaque

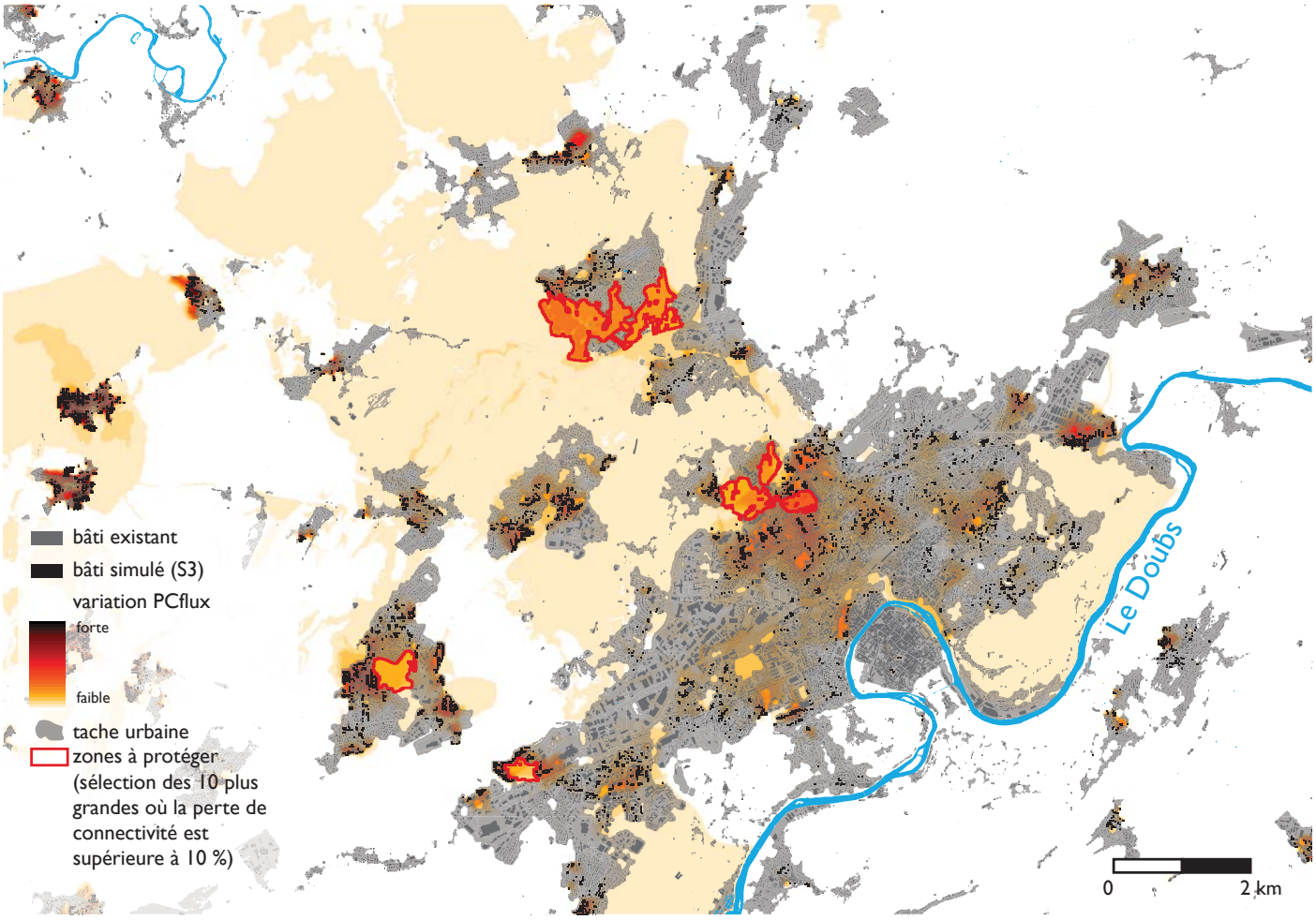


Figure 4 : Variations locales de connectivité pour le scénario « périurbain régulé », tous groupes d'espèces confondus

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. Par exemple, nous avons montré que les espèces préférant les milieux boisés étaient généralement plus sensibles au trafic routier alors que les espèces préférant les milieux ouverts semblent plus sensibles au développement résidentiel.

En analysant de manière diachronique les résultats obtenus par le calcul des métriques locales de connectivité et de leur généralisation à l'ensemble de la matrice paysagère, les résultats montrent que les impacts les plus importants sont généralement localisés à proximité des zones urbanisées (Figure 4). 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. La spatialisation de ces métriques de connectivité permet toutefois d'identifier les réservoirs potentiels de biodiversité, en identifiant les *hotspots* de connectivité écologique. Cette méthode permet également de localiser les zones les plus menacées par tel ou tel scénario d'urbanisation et d'identifier des zonages potentiels de protection de la biodiversité (Figure 4).

a UMR 5600 CNRS, Environnement Ville Société (EVS) ; Université Lyon 3 Jean Moulin.
* marc.bourgeois@univ-lyon3.fr