MODÉLISATION ET CARTOGRAPHIE DE LA FAUNE SAUVAGE EN VUE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

Analyse de déplacements individuels et simulation de trajectoires dans des scénarios d'aménagement

par Laurence Jolivet

Institut national de l'information géographique et forestière
73 avenue de Paris 94165 Saint-Mandé
laurence.jolivet@ign.fr

Thèse réalisée au COGIT sous la direction de Marianne Cohen et Anne Ruas

L'évaluation des conséquences d'aménagement sur les écosystèmes représente un défi. Lors de notre thèse, nous nous sommes intéressée aux conséquences potentielles sur les déplacements de la faune sauvage. Notre objectif principal est de proposer un modèle de déplacement quotidien d'animaux selon l'espèce animale et en fonction des éléments du paysage. Trois espèces animales sur cinq sites d'étude ont été étudiées. Les jeux de données mobilisés sont des localisations GPS individuelles et les bases de description de l'espace dont la BD TOPO, la BD Forêt et CORINE Land Cover. Nous avons commencé par analyser la composition de l'espace parcouru par les individus et par synthétiser la littérature concernant l'influence des éléments du paysage sur la faune. Les analyses spatiales sur les cas d'étude ont permis de confirmer et de préciser certains comportements spatiaux connus par espèce, notamment concernant les préférences spatiales. Ces résultats ont permis de définir un modèle de connaissances à partir des données utilisées sur les relations entre paysage et déplacements de faune. Puis un modèle de simulation a été implémenté à partir du modèle de connaissances. La simulation est orientée agent, un agent représentant un individu. Nous avons ensuite utilisé les mêmes sites d'étude afin de lancer des simulations de trajectoires. Une analyse critique des trajectoires simulées et une comparaison avec les observations ont permis d'établir des pistes d'amélioration. Des scénarios avant /après la construction d'une route ont été testés sur l'un des sites. En s'appuyant sur les trajectoires simulées, l'effet de barrière de la route apparaît bien. Celui-ci s'atténue lorsque sont ajoutés des corridors écologiques et des passages à faune à l'environnement de simulation.

Contexte de la cartographie des déplacements de la faune sauvage

La faune sauvage est influencée par son environnement spatial et agit en retour sur celui-ci. Les composantes du paysage comme les types d'occupation du sol, le relief et le réseau de transport favorisent ou non la présence d'animaux. Ces composantes ont une importance et une fonction qui varient en fonction de l'espèce animale. Elles orientent leurs déplacements (Náhlik *et al.*, 2009 ; Cosson *et al.*, 2006). Lorsque des modifications interviennent dans l'espace géographique, la faune doit s'adapter en changeant son comportement ou en migrant vers un autre lieu de vie. En aménagement du territoire, les conséquences des projets sont évaluées du point du vue économique, social, ou encore environnemental (Bourgeois *et al.*, 2005). Le cadre de notre thèse se situe dans ce dernier aspect. Nous souhaitons proposer une modélisation des relations entre déplacements d'animaux et éléments du paysage afin de contribuer à la visualisation et la compréhension des conséquences possibles de projets d'aménagement. Notre problématique est la prise en compte des déplacements de faune dans les projets d'aménagement et leur représentation dans un modèle de connaissances. Notre hypothèse de recherche est la suivante : une modélisation adaptée des relations entre paysage et déplacements quotidiens d'animaux permet de simuler de manière réaliste les conséquences d'aménagements. Nous nous intéressons en particulier aux déplacements individuels des animaux. Les localisations d'individus sont enregistrées grâce à des colliers contenant un système GPS et des capteurs. Ces enregistrements permettent d'estimer des trajectoires linéaires. Nous utilisons la description de l'espace fournie par des bases de données géographiques existantes disponibles. Ces bases de données de localisations et de description de l'environnement spatial ont des spécifications propres.

Nos objectifs sont alors :

- de déterminer si les bases de données disponibles permettent d'identifier des comportements spatiaux cohérents de la faune ;
- de modéliser les relations entre les éléments du paysage décrits dans les bases de données et les déplacements de la faune afin de pouvoir simuler des trajectoires et évaluer des scénarios d'aménagement.

Nous présentons la mise en œuvre proposée pour atteindre ces objectifs et plus largement pour apporter des éléments de réponse à notre hypothèse de recherche. Dans la première partie, nous détaillons les analyses de données entre paysage et déplacements. Puis nous décrivons, dans la seconde partie, le modèle de déplacement et le cadre des simulations.

Analyse et modélisation des déplacements individuels

Afin de mener à bien la modélisation des déplacements d'animaux, plusieurs cas d'étude ont été sélectionnés. Ce choix est argumenté ci-dessous ainsi que les méthodes d'analyses proposées. Puis les résultats et leurs interprétations sont synthétisés.

Cas d'étude et analyses

Un cas d'étude correspond à une espèce animale étudiée dans un site de milieu particulier. Nous souhaitions prendre en compte plusieurs types de comportements spatiaux. L'espace est utilisé et parcouru en fonction des besoins et des capacités des individus qui dépendent, entre autres, de leur espèce animale. Six cas d'étude ont été choisis. Les critères de choix et les cas d'étude sont décrits comme suit :

- les déplacements des espèces animales doivent avoir une emprise compatible avec les bases de données de l'espace géographique existantes. Nous utiliserons entre autres la BD TOPO et la BD Forêt qui sont de précision métrique, un MNT à 25 m et d'autres bases comme CORINE Land Cover ou le Registre Parcellaire Graphique. Ces bases sont disponibles sur l'ensemble du territoire français selon des spécifications similaires. Ceci signifie que les espèces animales sont des mammifères terrestres de taille moyenne et grande ;

- les individus doivent pouvoir supporter le port d'un collier avec GPS, ce qui confirme le critère de taille. La précision des coordonnées planimétriques est de 30 mètres. Les fréquences temporelles des enregistrements sont entre 5 minutes et 15 minutes selon les suivis.

- la prise en compte de plusieurs comportements spatiaux des espèces animales concernées : le renard (Vulpes vulpes), le chevreuil (Capreolus capreolus) et le cerf (Cervus elaphus). Les nombres d'individus sont les suivants : 7 femelles et 9 mâles renard, 3 femelles chevreuil et 3 femelles cerf. Les suivis par GPS ont lieu entre 1 et 6 jours par individu.

- plusieurs milieux couverts : milieu urbanisé (agglomération de Nancy, Annemasse et Pontarlier pour le renard, source des données : Anses et ELIZ, Robardet, 2007), milieu forestier vallonné (Réserve Nationale de Chasse et de Faune Sauvage dans les Vosges du Nord pour le chevreuil et le cerf, source des données : ONCFS, Saïd, 2008.), milieu agricole et boisé fragmenté (Haute-Garonne pour le chevreuil, source des données : INRA, Morellet et al., 2011).

Les analyses proposées portent sur la caractérisation des lieux parcourus par les individus. Certains parcours peuvent être assimilés à des préférences spatiales par rapport à la composition paysagère de l'ensemble du site d'étude (Matthiopoulos, 2003). D'autres déplacements peuvent traduire un évitement car le lieu représente un danger ou possède peu d'intérêt.

Résultats d'analyses et interprétation

Les analyses spatiales sur les déplacements des animaux ont été menées à partir de trois emprises. La première emprise est le site d'étude qui représente l'espace disponible et a priori accessible par les individus. La deuxième emprise, nommée espace parcouru, est obtenue par enveloppe convexe ou par interpolation par noyau des localisations GPS. Elle peut correspondre au domaine vital lorsque la période de suivi est de plusieurs journées. Le troisième espace étudié correspond à celui autour des localisations ponctuelles. Les trajectoires linéaires ont également été construites afin d'estimer les trajets continus et les vitesses de déplacement. L'étude et la comparaison entre les trois emprises ont permis d'identifier certaines caractéristiques spatiales des lieux parcourus. Nous les présentons pour chacune des trois espèces animales.

Les renards suivis sur les sites en milieu urbanisé semblent privilégier les zones de végétation comme des jardins et les zones de faible densité de bâti comme des zones commerciales et industrielles. Certaines excursions sont néanmoins observées dans les zones résidentielles. Un aspect important des déplacements est le rythme. Les individus sont actifs la nuit et se déplacent sur quelques kilomètres. Le jour, les suivis

montrent peu de déplacements. Des lieux de pauses ont été identifiés à partir de clusters de points (critère de distance maximale entre points successifs dans le temps). Ils peuvent correspondre soit à du repos soit à de la recherche de nourriture dans un périmètre restreint. Ce rythme s'illustre en particulier dans le cas d'étude autour de Nancy (fig. 1). Ces résultats sont cohérents avec la littérature (Rosatte & Allan, 2009).

Le chevreuil est étudié dans deux sites de milieux différents. Sur le site en milieu agricole boisé, des influences de certains éléments du paysage ont été identifiées, principalement par visualisation des données. Par exemple, des déplacements sont observés à proximité de haies, ce qui peut laisser supposer une utilisation de ces éléments linéaires. Quelques cas de *non franchissement d'infrastructures de transport* peuvent être visualisés. Des exemples concernent des cas de déplacements de migration dont l'avancement fut bloqué ou démotivé par des voies d'autoroute, illustrant un rôle d'obstacle potentiel. En milieu forestier vallonné sur le site des Vosges, les analyses spatiales ont permis de déterminer que les individus étaient observés de manière privilégiée dans les peuplements forestiers de type feuillus et mixtes (feuillus et conifères mélangés). La distinction a ensuite été effectuée entre déplacements lents et déplacements rapides. Les individus se déplacent dans les deux cas significativement davantage dans les parcelles de jeunes peuplements et de coupe et les chênaies. La pente joue également un rôle car la présence dans des forts dénivelés correspond principalement à des déplacements rapides. Pour les cerfs en milieu forestier, les analyses mettent en avant que les déplacements, lents et rapides, ont lieu davantage dans des parcelles de jeunes peuplements et de coupe et les chênaies. Un évitement concerne par contre les hêtraies et les parcelles mixtes et de conifères.

Modèle de connaissances des relations paysage-déplacements

À partir des bases de données existantes dont certaines ne sont pas dédiées aux études de faune, nous avons pu retrouver des comportements spatiaux connus. La cartographie des données a par ailleurs pu mettre en évidence certaines influences ponctuelles, comme des obstacles probables ou des lieux d'intérêt. Suite aux résultats d'analyse et à la lecture de la littérature, nous avons défini un modèle de connaissances. Nous avons distingué quatre rôles des éléments du paysage en fonction de leur utilisation et des déplacements. Ces rôles ou fonctions rentrent dans le concept d'espace fonctionnel c'est-à-dire tel qu'ils sont utilisés par les animaux (Burel & Baudry, 1999). Ces quatre rôles sont les éléments favorables aux déplacements, ceux qui font obstacles, les éléments qui présentent un intérêt et ceux qui sont évités. Sont également inclus dans le modèle la classe des individus qui héritent des comportements de leur espèce animale et qui déterminent le rôle qu'auront les éléments du paysage en fonction du type d'élément.

Simulation de trajectoires d'animaux et évaluation des conséquences d'aménagements

Nous considérons que les influences du paysage identifiées sur les déplacements dans les sites actuels restent pertinentes lors de projets d'aménagement. Les préférences spatiales et les obstacles sont a priori conservés lors de modification par des aménagements, même si la faune peut s'adapter.

Un modèle de simulation orienté agent

Nous avons intégré au modèle de connaissances de nouvelles classes permettant l'implémentation et la construction de trajectoires. L'approche adoptée est orientée agent. Un agent est un individu appartenant à une espèce animale. Les agents sont situés, flexibles, autonomes et ont des capacités de mémorisation des lieux parcourus (Ferber, 1995). Ils se déplacent en fonction de leurs besoins, via des activités, et de leur environnement spatial. Les activités sont définies comme suit : l'exploitation d'un lieu restreint lors de repos ou de la consommation de nourriture, et la recherche de ressources entraînant des déplacements sur de plus longues distances. Ces activités sont associées à des périodes de la journée : jour/nuit pour le renard et cycliquement pour le chevreuil et le cerf, par défaut respectivement toutes les heures et toutes les 6 heures. La vitesse de déplacement moyenne est définie par espèce à partir des observations. L'environnement spatial est décrit par les bases de données mobilisées lors des analyses. Les éléments ont donc une nature (bâti, zone arborée, route, etc.) et une fonction d'après les quatre rôles définis précédemment et un rôle supplémentaire théoriquement neutre donc sans influence. La trajectoire est construite par un agent animal. Celui-ci choisit une destination dans les éléments du paysage inclus dans un rayon de perception (50 m par défaut). Il se dirige vers cette destination en contournant les obstacles comme les bâtiments. Les routes sont associées à une valeur de perméabilité qui varie selon le type de voie. Si la durée est trop longue pour atteindre cette destination alors le processus recommence et il choisit une nouvelle destination. Sinon il exploite cette destination selon son activité, ce qui est traduit dans l'implémentation par des déplacements à l'intérieur de l'élément du paysage. Les paramètres du processus de simulation sont principalement l'intervalle de temps entre les localisations. Par défaut, l'intervalle

est fixé à 1 minute afin d'obtenir des trajectoires à haute résolution temporelle.

Nous avons implémenté le modèle dans GeOxygene (Brasebin, 2009) et nous avons mené des tests afin de valider et de critiquer les trajectoires simulées. Pour comparer les trajectoires simulées à celles interpolées linéairement entre les observations GPS, nous avons sous-échantillonné les résultats de simulation à 5 minutes. La validation du modèle de simulation s'effectue par visualisation, puis de manière quantitative par le calcul d'indicateurs. La cartographie des trajectoires simulées permet de visualiser si l'emprise et la forme des trajectoires sont cohérentes avec les enregistrements GPS. Les indices calculés concernent la situation des trajectoires par rapport aux éléments du paysage. Les distances minimales sont mesurées et compilées entre les points simulés constituant une trajectoire et les bâtiments, routes et zones de végétation. Ceci permet de représenter la manière dont sont réparties les trajectoires dans le site d'étude. Nous avons alors lancé les simulations de trajectoires pendant 24 h dans les sites d'étude de Nancy pour le renard et des Vosges pour les cervidés. Les résultats montrent que le modèle de simulation permet de simuler des trajectoires de manière cohérente avec l'emprise des déplacements observés et la composition des lieux parcourus. Concernant les améliorations à apporter, le modèle surestime les distances parcourues. Cela pourrait être amélioré par une meilleure prise en compte du rythme d'activité en implémentant explicitement un arrêt des déplacements lors des phases de repos. De plus, une variabilité plus grande dans les vitesses de déplacement, par exemple en fonction des obstacles ou des lieux favorables pourrait apporter plus de réalisme. La répartition des trajectoires simulées peut également être améliorée en introduisant des fonctions de sélection de ressources propres aux espèces animales ou en utilisant des graphes paysagers (Foltête et al., 2012 ; Vuilleumier & Metzger, 2005).

Scénarios d'aménagement

Une évaluation des conséquences d'aménagement est menée sur un des sites d'étude autour de Nancy. Le projet fictif d'une nouvelle route est décliné en trois scénarios : 1- le tracé de la route, 2- ce tracé et des passages à faune et enfin 3- ce tracé, des passages à faune et des corridors écologiques en pas japonais traversant le site et menant aux passages. Le scénario initial est celui de l'espace non modifié. Un même agent correspondant à un renard a été successivement localisé à 50 endroits de départ différents répartis sur le site et a construit une trajectoire pendant 24 h. Le parcours de l'espace est comparé entre le scénario initial et les trois projets d'aménagement. Les densités des localisations des trajectoires sont estimées grâce à l'interpolation par noyaux afin de mieux visualiser leur répartition (fig. 2).

Le constat est que la cartographie des trajectoires simulées permet de mettre en évidence certaines zones très parcourues. Dans le cas du renard, les éléments d'intérêt pouvant être le bâti, les déplacements sont plus denses dans la partie au nord-ouest du site correspondant à un zone bâtie et, donc, au nord du projet de route. Cette nouvelle route freine les déplacements vers le nord lors de sa traversée. Le scénario avec les passages à faune reliés à des corridors permet de compenser en partie cet effet de barrière. La visualisation de ces conséquences sur des trajectoires simulées peut favoriser la formulation d'hypothèses sur les meilleurs emplacements des passages à faune et corridors associés.

Conclusion

Notre approche a été de construire un modèle de l'influence du paysage sur les déplacements d'animaux. Ce modèle est centré sur la simulation et la visualisation des trajectoires de mammifères et les impacts de routes et d'aménagements sur ces déplacements. Le modèle a été défini à partir de la cartographie et de l'analyse des données de localisations individuelles et de description de l'espace. Notre hypothèse de recherche trouve une première réponse dans le fait que cette modélisation s'appuyant sur des connaissances et des bases de données à grande échelle représente un support pour évaluer les aménagements d'un point du vue des trajectoires de déplacement de la faune sauvage.

Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes qui nous ont fourni les jeux de données et l'aide nécessaire pour mener à bien cette recherche, en particulier pour les données appartenant à l'ELIZ, au Laboratoire de la rage et la faune sauvage de l'Anses, au CNERA Cervidés et sanglier de l'ONCFS et au CEFS de l'INRA Toulouse.

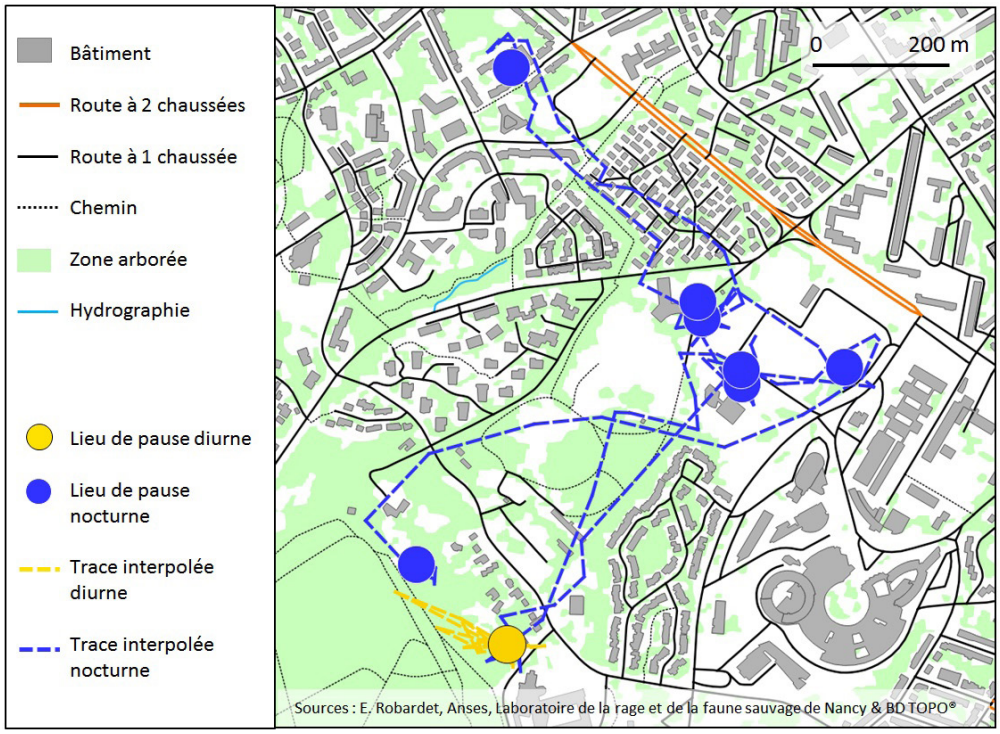

Figure 1 : Cartographie de la trajectoire d'un renard et de ses lieux probables de gîtes de repos diurnes et de recherches alimentaires en période nocturne, nommés plus généralement lieux de pauses.

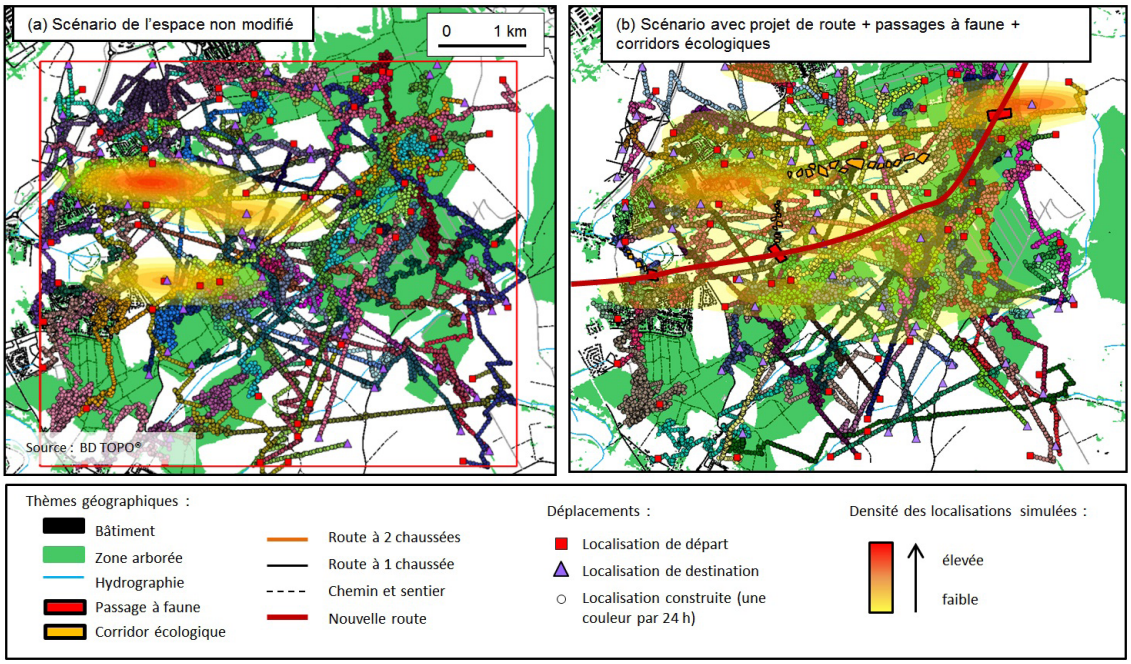

Figure 2 : Simulation de trajectoires : avant (a)/ après (b) la construction d'une route accompagnée de passages à faune et corridors écologiques. La visualisation de la répartition des déplacements montre que ceux-ci sont freinés par la nouvelle route mais utilisent néanmoins les zones correspondant aux passages et corridors écologiques.

Bibliographie

Bourgeois L., Kneeshaw D., Boisseau G., 2005, *Les routes forestières au Québec : Les impacts environnementaux, sociaux et économiques,* Vertigo, vol. 6, n° 2, 12 p.

Brasebin M., 2009, « *Geoxygene : une plate-forme de développement 3D*, Mappemonde, vol. 96, http://mappemonde.mgm.fr/num24/fig09/fig09405.html

Burel F., Baudry J., 1999, *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*, Paris, Éditions TEC & DOC.

Cosson J.-F., Estoup A., Coulon A., Galan M., Mortier F., Hewison A. J. M., Guillot G., 2006, *Un modèle géostatistique pour la détection et la localisation des discontinuités génétiques spatiales entre populations*, Les Actes du Bureau des Ressources Génétiques, vol. 6, p. 41-55.

Ferber J., 1995, *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective,* Paris, InterEditions.

Foltête J.-C., Clauzel C., Vuidel G., 2012, *A software tool dedicated to the modelling of landscape networks*, Environmental Modelling & Software, vol. 38, p. 316-327

Matthiopoulos J., 2003, *The use of space by animals as a function of accessibility and preference*, Ecological Modelling, vol. 159, n° 2-3, p. 239-268.

Morellet N., Van Moorter B., Cargnelutti B., Angibault J.-M., Lourtet B., Merlet J., Ladet S., Hewison A. J. M., 2011, *Landscape composition influences roe deer habitat selection at both home range and landscapes scales*, Landscape Ecology, vol. 26, p. 999-1010.

Náhlik A., Sándor G., Tari T., Király G., 2009, *Space use and activity patterns of red deer in a highly forested and in a patchy forest-agricultural habitat*, Acta Silvatica & Lignaria Hungarica, vol. 5, p. 109-118.

Robardet E., 2007, *Étude de la transmission d'Échinococcus multilocularis dans une grande agglomération : influence du comportement alimentaire et de l'utilisation de l'espace par le renard roux (Vulpes vulpes) sur la contamination de l'environnement*, Université de Franche-Comté, Mémoire de thèse.

Rosatte R., Allan M., 2009, *The ecology of red foxes, Vulpes vulpes, in Metropolitan Toronto, Ontario: disease management implications*, Canadian Field-Naturalist, vol. 123, n° 3, p. 215-220.

Saïd S., 2008, *Ongulés sauvages et équilibre forêt-gibier*, Office national de la chasse et de la faune sauvage, Rapport scientifique.

Vuilleumier S., Metzger R., 2005, *Animal dispersal modelling: Handling landscape features and related animal choices*, Ecological Modelling, vol. 190, p. 159-170