

Caractérisation de l'habitat à partir de données de présence : le cas du lynx dans les Vosges

Mathieu Basille, Clément Calenge, Éric Marboutin, Reidar Andersen¹ & Jean-Michel Gaillard²

¹ Norwegian University of Science and Technology – Department of Biology, NO-7491 Trondheim, Norvège.

² UMR-CNRS 5558, Biométrie et Biologie Évolutive, Université de Lyon 1, 69622 Villeurbanne cedex

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

L'Office national de la chasse et de la faune sauvage (ONCFS) a créé le Réseau Lynx en 1989. Ce réseau de correspondants de terrain a pour mission de collecter des indices de présence (observations visuelles, proies, empreintes,...), de façon à renseigner l'évolution de l'aire de répartition du lynx (Vandel & Stahl, 2005). Ce principe de réseau de surveillance extensive existe également pour l'ours brun et a été étendu récemment au loup. Tous ces réseaux ont en commun la particularité d'être des programmes de suivi conventionnel passif : ils centralisent les données collectées par des centaines de correspondants formés spécialement pour cette mission. Le principal avantage réside dans une organisation permanente dans le temps, mais aussi continue sur toute l'aire de présence des espèces concernées, ce qui permet de récolter des données de présence à de très larges échelles spatiales (plusieurs milliers de kilomètres carrés). Ces données sont très utiles dans le cadre de la surveillance des aires de répartition, et ont permis, par exemple, de documenter le développement des populations de lynx et de loup.

Les données fournies par ce type de réseau présentent toutefois une limitation importante : elles ne renseignent en effet que sur la présence de l'espèce et en aucun cas son absence. En d'autres termes, l'absence d'indices dans une région particulière ne signifie pas forcément l'absence de l'espèce. Cela peut correspondre (1) à une présence réelle mais non détectée (à cause de contraintes temporelles ou spatiales notamment), (2) à une absence réelle de l'espèce alors que l'habitat pourrait lui être favorable à cet endroit précis, (3) à une absence réelle pour cause d'un habitat non favorable. Seul ce dernier cas est pertinent dans l'étude de la distribution d'une espèce en relation avec les caractéristiques de son habitat. Les autres cas sont dénommés fausses absences qui, si elles étaient considérées comme des absences réelles, pourraient conduire à des conclusions erronées quand à la détermination de l'habitat de l'espèce étudiée.

L'analyse des seules données de présence nécessite donc des approches spécifiques. Jusqu'à récemment, aucune méthode d'analyse ne pouvait réellement prendre en compte leur nature particulière, à moins de reposer sur des hypothèses de travail rarement réalistes. Le développement de nouvelles méthodes multivariées basées sur une approche géométrique de l'habitat permet désormais de pleinement utiliser ces données (Basille, 2008 ; Calenge & Basille, 2008).

Le cas du lynx dans les Vosges

Le lynx a été réintroduit dans le massif des Vosges au début des années 1980 : entre 1983 et 1993, 9 femelles adultes et 12 mâles adultes ont été relâchés sur 4 sites au sud du massif (Vandel *et al.*, 2006). Au cours des 20 années suivantes, le lynx a progressivement colonisé toute la partie

sud du massif, établissant un noyau de population qui semble progresser lentement, essentiellement vers le nord et l'ouest. Cette situation illustre bien une problématique de re-colonisation et force à se questionner sur l'avenir. Des éléments de réponse peuvent être obtenus en caractérisant les relations entre le lynx et son environnement afin de décrire l'habitat, observé puis potentiel, de l'espèce.

De 1998 à 2002, 292 indices de présence ont été récoltés par le Réseau Lynx, sur une zone d'étude d'environ 16 500 km² (figure 1). À chaque indice recueilli est associée une fiabilité sur 4 niveaux (présence du lynx confirmée, probable, non-confirmée ou non-identifiée). Ces indices peuvent être utilisés pour caractériser l'habitat du lynx dans le massif des Vosges, comme application de

l'approche multivariée aux seules données de présence.

L'approche multivariée de l'analyse de la niche écologique : une approche géométrique

Les méthodes d'analyse de l'habitat récentes sont fondées sur le concept de niche écologique tel qu'il a été formalisé par G.E. Hutchinson en 1957. Un lot de variables environnementales est alors mesuré, définissant ainsi la zone d'étude et ses caractéristiques précises. L'idée est de transposer la cartographie de la zone d'étude (dans laquelle une région bien définie ne présente pas forcément des caractéristiques homogènes, mais représente simplement un ensemble de localisations géographiquement proches) dans l'espace géométrique formé par les variables environnementales (une région de cet espace présente alors des caractéristiques homogènes mais ne correspond pas forcément à une région géographique unique). Dans cet espace géométrique (*cf.* encadré), il est alors possible de comparer ce qui est utilisé par l'espèce à ce qui lui est disponible.

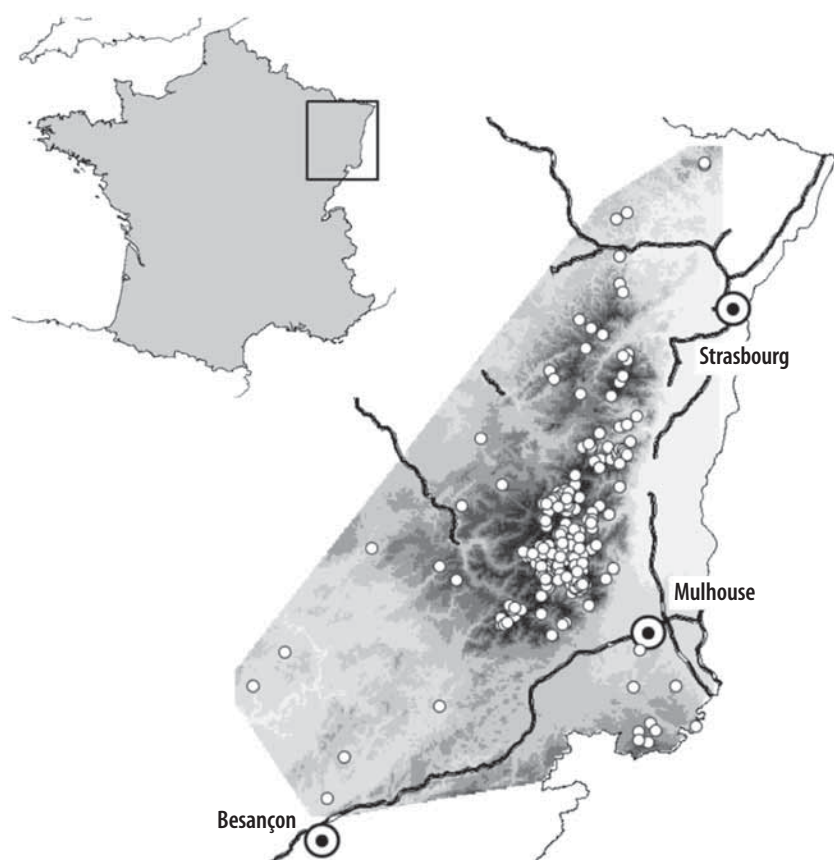
L'hypothèse de travail est que les localisations d'indices de présence représentent une bonne approximation de la niche écologique réalisée par le lynx dans les Vosges. Exprimé autrement, nous posons l'hypothèse que la répartition des indices de présence est représentative de la répartition sous-jacente (réelle) du lynx.

L'analyse factorielle de la niche écologique

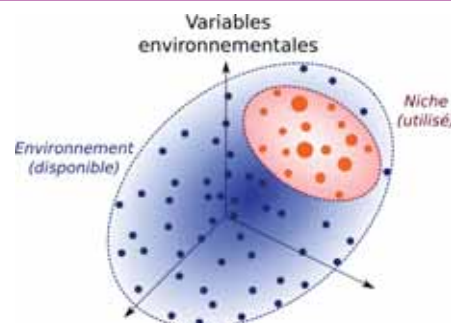
La méthode présentée ici pour analyser la sélection de l'habitat sur des données populationnelles est l'analyse factorielle de

la niche écologique (*Ecological-Niche Factor Analysis, ENFA*) (Hirzel *et al.*, 2002). À la manière d'une analyse en composantes principales (ACP), l'ENFA ressort une série d'axes factoriels. Ceux-ci ont toutefois un sens biologique précis puisqu'ils se fondent sur 2 paramètres

Figure 1 : Situation du massif des Vosges. Les lignes représentent les autoroutes et les points correspondent aux localisations des indices de présence de lynx utilisés pour l'analyse. L'altitude est représentée en fond.



La niche écologique. Chaque variable environnementale, représentée par une carte dans l'espace géographique, définit une dimension de l'espace écologique. Chaque pixel de la zone d'étude est donc caractérisé pour chacune des variables et correspond à un point dans l'espace écologique. L'ensemble de ces points définit un hypervolume représentant l'environnement, c'est-à-dire ce qui est disponible à l'organisme. Au sein de l'environnement, la niche écologique est définie comme l'hypervolume dans lequel une espèce peut potentiellement maintenir une population viable (Hutchinson, 1957). Elle est matérialisée géométriquement par l'ensemble des points correspondant à une ou plusieurs localisations (pixels utilisés).



qui permettent de décrire la position et la forme de la niche dans l'espace écologique :

- **la marginalité** correspond à l'écart entre le milieu moyen utilisé et le milieu moyen disponible ; elle définit l'excentricité de la niche par rapport aux conditions disponibles ; en d'autres termes, la marginalité est la différence entre les zones où des indices de présence ont été collectés et la zone d'étude entière, c'est-à-dire la zone où on pourrait trouver des indices ; plus la niche est excentrée, plus la marginalité est forte et plus les conditions moyennes utilisées par l'espèce s'écartent des conditions moyennes disponibles ;
- **la spécialisation** est une mesure d'étroitesse de la niche ; elle est mesurée par le rapport de variance des conditions disponibles sur les conditions utilisées ; plus une espèce est spécialiste, plus sa niche écologique sera étroite ; la spécialisation correspond ainsi à la tolérance d'une espèce par rapport aux conditions environnementales.

Le premier axe extrait par l'analyse est un axe de marginalité, suivi de plusieurs axes de spécialisation, jusqu'à épuisement des variables de départ. La description de la niche est facilitée par la construction de cartes factorielles qui permettent la projection des variables environnementales sur les axes de l'analyse. Cette représentation graphique permet une identification aisée des variables pertinentes pour la définition de la marginalité et de la spécialisation, c'est-à-dire les variables importantes pour définir l'habitat de l'espèce.

Cartographie de la qualité de l'habitat

L'ENFA s'inscrit dans une famille de méthodes multivariées basées sur ce même concept géométrique de l'habitat. Parmi elles, l'analyse factorielle des distances de Mahalanobis (*Mahalanobis Distances Factor Analysis*, MADIFA) permet, outre la caractérisation de l'habitat selon quelques axes factoriels, la construction de cartes de qualité de l'habitat. Sans rentrer dans les détails de la méthode, ce

type de cartes renseigne en fait sur la probabilité de rencontre de l'espèce à chaque endroit de l'aire d'étude, étant donné la répartition des indices recueillis. La MADIFA exprime ainsi une distance (i.e. une divergence) à l'habitat optimum pour l'espèce. Cette distance est ensuite décomposée en plusieurs axes factoriels, à l'instar de l'ENFA. Contrairement à cette dernière, ces axes ne permettent pas de caractériser la forme de la niche occupée par l'espèce (en d'autres mots, l'ENFA est la seule à pouvoir décrire à la fois la position de la niche grâce à la marginalité et sa largeur grâce à la spécialisation). La MADIFA est donc utilisée pour sa capacité à construire des cartes de qualité d'habitat ayant vocation à servir de base à une forme de « prédiction théorique » de ce que pourrait être les zones favorables à l'installation de l'espèce.

L'application au lynx : résultats et discussion

Plusieurs variables environnementales ont été mesurées sur la zone d'étude (tableau 1), parmi lesquelles la densité de routes, la distance aux autoroutes, la proportion de zones agricoles ou de forêts, ou encore l'altitude et la distance aux zones artificielles. L'ENFA appliquée à ces données est résumée par la carte factorielle sur l'axe de marginalité et le premier axe de spécialisation (figure 2). La marginalité

est expliquée principalement par l'altitude, la pente, la proportion de forêts de feuillus et de zones agricoles : le lynx recherche des milieux avec une altitude élevée, de fortes pentes, une forte proportion de forêt de feuillus et peu de zones agricoles. La spécialisation est principalement marquée par la distance aux autoroutes, et dans une moindre mesure par la distance aux routes rapides et la distance aux zones artificielles : le lynx est particulièrement sensible aux variations de ces variables, en particulier lorsque la distance aux autoroutes diminue.

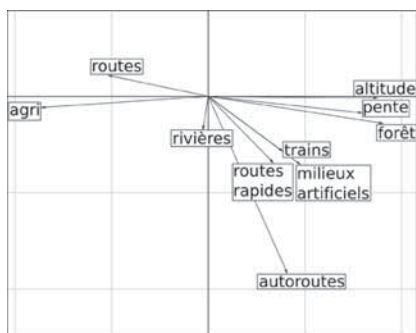
Ces résultats sont à comparer avec la carte de qualité d'habitat construite par la MADIFA (figure 3). Le lynx a été réintroduit dans la partie centrale de l'aire d'étude caractérisée par une altitude élevée, un couvert forestier dense et une activité humaine réduite, puis a colonisé progressivement tout le massif, évitant la proximité des zones à forte activité, en particulier le couloir assurant la liaison Strasbourg–Mulhouse à l'est, traversé par des autoroutes et caractérisé par de nombreuses zones agricoles. À partir de cette étude, nous pouvons confirmer en particulier que le lynx recherche un couvert forestier dense, évite les zones agricoles et est très sensible à la distance aux autoroutes.

L'apparente sélection de milieux caractérisés par une altitude élevée ainsi que des fortes pentes pourrait toutefois être un simple

Tableau 1 : Variables environnementales incluses dans l'analyse.

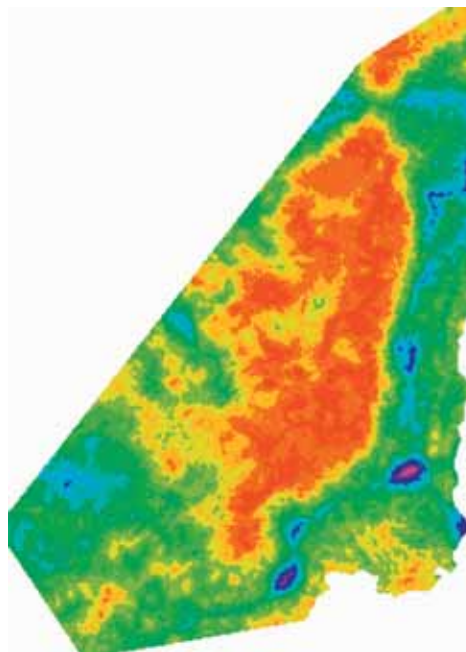
Nom	Description
agri	proportion de zones agricoles dans un rayon de 5 km
milieux artificiels	distance aux zones artificielles
altitude	altitude
forêt	proportion de forêts dans un rayon de 5 km
autoroutes	distance aux autoroutes
routes rapides	distance aux routes principales (autres que autoroutes)
trains	distance aux voies ferrées
rivières	distance aux rivières
routes	densité de routes dans un rayon de 5 km
pente	pentés

Figure 2 : Carte factorielle de l'ENFA. L'axe des abscisses représente la marginalité, l'axe des ordonnées représente le premier axe de spécialisation. Les corrélations des variables sur ces axes donnent l'importance de celles-ci dans l'analyse de sélection d'habitat. Sur le premier axe, l'habitat étudié est caractérisé par des valeurs élevées des variables présentant une longue flèche vers la droite, et faibles pour celles présentant une longue flèche vers la gauche. Sur le deuxième axe, l'espèce est peu tolérante aux variations des variables présentant une flèche plus longue vers le haut ou vers le bas (le sens n'a ici pas d'importance).



artefact dû à la proportion de forêts et de zones agricoles, ainsi qu'à la distance aux autoroutes. En effet, les altitudes élevées et les fortes pentes apparaissent dans des zones qui ne sont pas appropriées pour l'agriculture ou les autoroutes, et en général pour les activités humaines. La sélection des altitudes élevées et des fortes pentes pourrait être une simple conséquence du patron de sélection préalablement établi. Ainsi la zone située à l'ouest et caractérisée comme défavorable (en bleu clair sur la carte) est caractérisée en particulier par une altitude et une pente faible. Aucune autoroute ne la traverse et la densité de routes n'est pas spécialement élevée, pas plus que la proportion de zones agricoles. La seule caractéristique limitante pourrait être la proportion de forêts, sensiblement plus faible que sur le massif vosgien proprement dit, mais restant à un niveau relativement élevé par endroits. Cette zone pourrait donc être favorable à la colonisation de manière permanente par le lynx, qui serait alors restreint aux zones forestières plus denses.

Figure 3 : Carte de qualité de l'habitat construite par la MADIFA. La qualité est donnée par la couleur de la localisation allant du rouge (forte probabilité de présence) à bleu/violet (faible probabilité de présence) en passant par vert.



Conclusion

Les données collectées par les réseaux de correspondants de l'ONCFS constituent une mine d'informations pouvant servir à la caractérisation des habitats des espèces étudiées. Un apport majeur en termes de gestion est la construction de cartes de qualité d'habitat, permettant d'identifier les zones potentiellement utilisables par l'espèce. Il faut toutefois se garder d'interpréter de telles cartes sans appréhender les processus sous-jacents. Le développement de méthodes récentes telles que l'ENFA ou la MADIFA permettent d'exploiter les données récoltées de type « présence uniquement », de façon exploratoire et descriptive. L'utilisation conjointe de ces 2 méthodes permet, d'une part, de caractériser de manière très précise l'habitat utilisé à partir des données de présence disponibles (description de la niche à partir de l'ENFA), et, d'autre part, de construire des cartes de qualité de l'habitat potentiel (MADIFA) dans les zones où les données de présence ne sont

pas disponibles. Ces deux méthodes, très complémentaires, font désormais partie d'un module d'analyse de données libre de droits (*Adehabitat* sous R).

BIBLIOGRAPHIE

- Basille M. (2008) – Habitat selection by Lynx (*Lynx lynx*) in a human-dominated landscape – from theory to application. Ph-D thesis, University of Lyon, 239 p.
- Calenge C. & M. Basille (2008) – A general framework for the statistical exploration of the ecological niche. *Journal of Theoretical Biology* : 674-685.
- Calenge C., Darmon G., Basille M., Loison A. & J.M. Jullien (in press.). The factorial decomposition of the mahalanobis distances in habitat selection studies. *Ecology*.

- Clark, J.D., Dunn, J.E. & K.G. Smith (1993) – A multivariate model of female black bear habitat use for a geographic information system. *Journal of Wildlife Management* 57: 519–526.
- Engler R., Guisan A. & L. Rechsteiner (2004) – An improved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology* 41(2): 263–274.
- Hirzel A.H., Hausser J., Chessel D. & N. Perrin (2002) – Ecological-Niche Factor Analysis: How to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology* 83: 2027–2036.
- Hutchinson G.E. (1957) – Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology* 22: 415–427.
- Manly B. F.J., McDonald L.L., Thomas D.L., McDonald T.L. & W.P. Erickson (2002) – Resource selection by animals. Statistical design and analysis for field studies. Second edition. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- Vandel J.M. (2001) – Répartition du lynx (*Lynx lynx*) en France (massif alpin, jurassien et vosgien). Méthodologie d'étude et statut actuel. Mémoire de l'École Pratique des Hautes Études.
- Vandel J.M. & P. Stahl (2005) – Distribution trend of the Eurasian lynx (*Lynx lynx*) populations in France. *Mammalia* 69: 145–158.
- Vandel J.M., Stahl P., Herrenschmidt V. & E. Marboutin (2006) – Reintroduction of the lynx into the Vosges mountain massif: From animal survival and movements to population development. *Biological Conservation* 131: 370–385.

ABSTRACT

Characterization of habitat from presence data: the case of lynx in the Vosges

Mathieu Basille, Clément Calenge, Éric Marboutin, Reidar Andersen & Jean-Michel Gaillard

- The National hunting and wildlife agency runs several networks of correspondants which continuously gather data relating to different species. For species with a large distribution range and occurring at low densities, such as large carnivores, these are presence indices gathered in an opportunist way. These data, where a species's absence is not really documented, raise particular problems for their analysis. Recent advances in the field of multivariate analyses now enable to exploit them at best for a detailed characterization of the studied species' habitat and for preparing maps of presence probability in the study area.