

## Intégration de la connectivité dans la gestion et la conservation des habitats

**Pour pallier à la fragmentation du paysage, établir une cartographie des habitats favorables aux espèces sensibles semble nécessaire. À travers l'étude de cas d'une espèce de chauve-souris dans le massif du Vercors dans le cadre du projet Mochab, que peuvent nous apprendre les outils spatialisés sur l'état de connectivité d'un paysage donné ?**



La structure et le fonctionnement d'un paysage ne peuvent pas uniquement s'expliquer par le cumul des différents types d'habitats présents, mais par un ensemble d'interactions entre habitats évoluant au cours du temps. La théorie des graphes permet une représentation de la structure et de la fonctionnalité d'un paysage. Le graphe est une mosaïque hétérogène de zones relativement homogènes appelées les nœuds (Saura et Torné, 2009). Ils interagissent entre eux par des liens à travers lesquels les espèces peuvent se disperser. Les liens sont constitués d'habitats perméables au déplacement des espèces mais dans lesquels elles ne peuvent pas subsister (pas de ressources, de refuge et/ou forte prédation). La figure 1 schématise la représentation d'un paysage selon la théorie des graphes. La capacité de dispersion d'une espèce entre les nœuds d'un graphe, c'est-à-dire la connectivité du paysage, est une combinaison entre le comportement de dispersion de l'espèce adapté à son environnement (la connectivité fonctionnelle) et la configuration spatiale des habitats favorables à l'espèce (connectivité structurelle). La connaissance de ces deux aspects est indispensable pour déterminer l'état de connectivité d'un paysage pour une espèce ou un groupe d'espèces donné. C'est pourquoi des outils de modélisation et d'analyse spatiale basés sur la théorie des graphes ont été développés. Cependant la mise en œuvre, l'analyse et l'utilisation des résultats cartographiques nécessitent une bonne compréhension et maîtrise de ces outils tout en prenant en compte les particularités et spécificités des espèces, groupes d'espèces ou habitats ciblés.

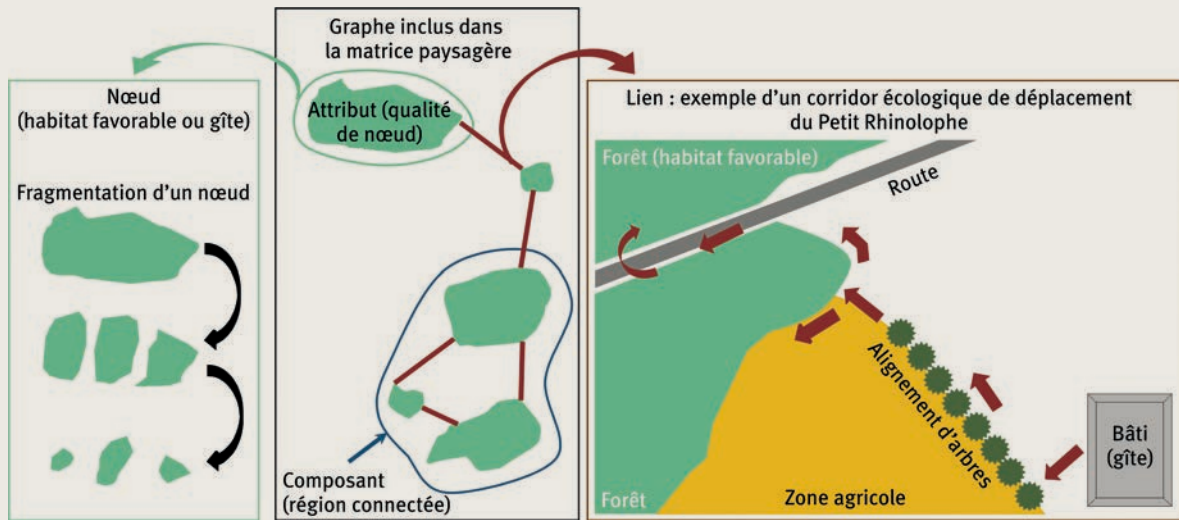
### La fragmentation du paysage face à la protection des espèces et de leurs habitats

#### Fragmentation et connectivité du paysage

Le déplacement des espèces dans leur environnement est vital pour leur survie. Les perturbations anthropiques modifient les structures paysagères et les habitats des espèces. Le processus de fragmentation d'un paysage engendre une disparition de l'habitat qui va s'organiser sous la forme d'un réseau de nœuds de plus en plus isolés et petits reliés entre eux par des liens plus ou moins favorables aux mouvements des individus (figure 1). Les effets de la fragmentation varient selon les exigences spécifiques des espèces. La réponse d'une espèce à la perte d'un habitat dépend de deux paramètres : l'utilisation des ressources disponibles dans cet habitat et la répartition spatiale des habitats utilisés (Fahrig, 2003). D'autre part, la diminution de la perméabilité d'un paysage fragmenté concomitant avec l'apparition de barrières écologiques réduit la perméabilité du paysage, ce qui limite ou rend impossible tout flux naturel et biologique entre les nœuds (flux d'individus d'une espèce donnée, flux de gènes, dissémination de graines...). C'est pourquoi la capacité des éléments du paysage à favoriser ces flux, appelée communément connectivité du paysage, est fondamentale pour garantir la stabilité des populations animales ou végétales (Decout *et al.*, 2012).

L'étude et la cartographie de l'état de connectivité d'un paysage fait partie d'une des premières étapes de la démarche Trame verte et bleue qui succède à la connaissance des espèces et aux observations de terrain. En effet, il est indispensable pour une gestion efficace et juste-

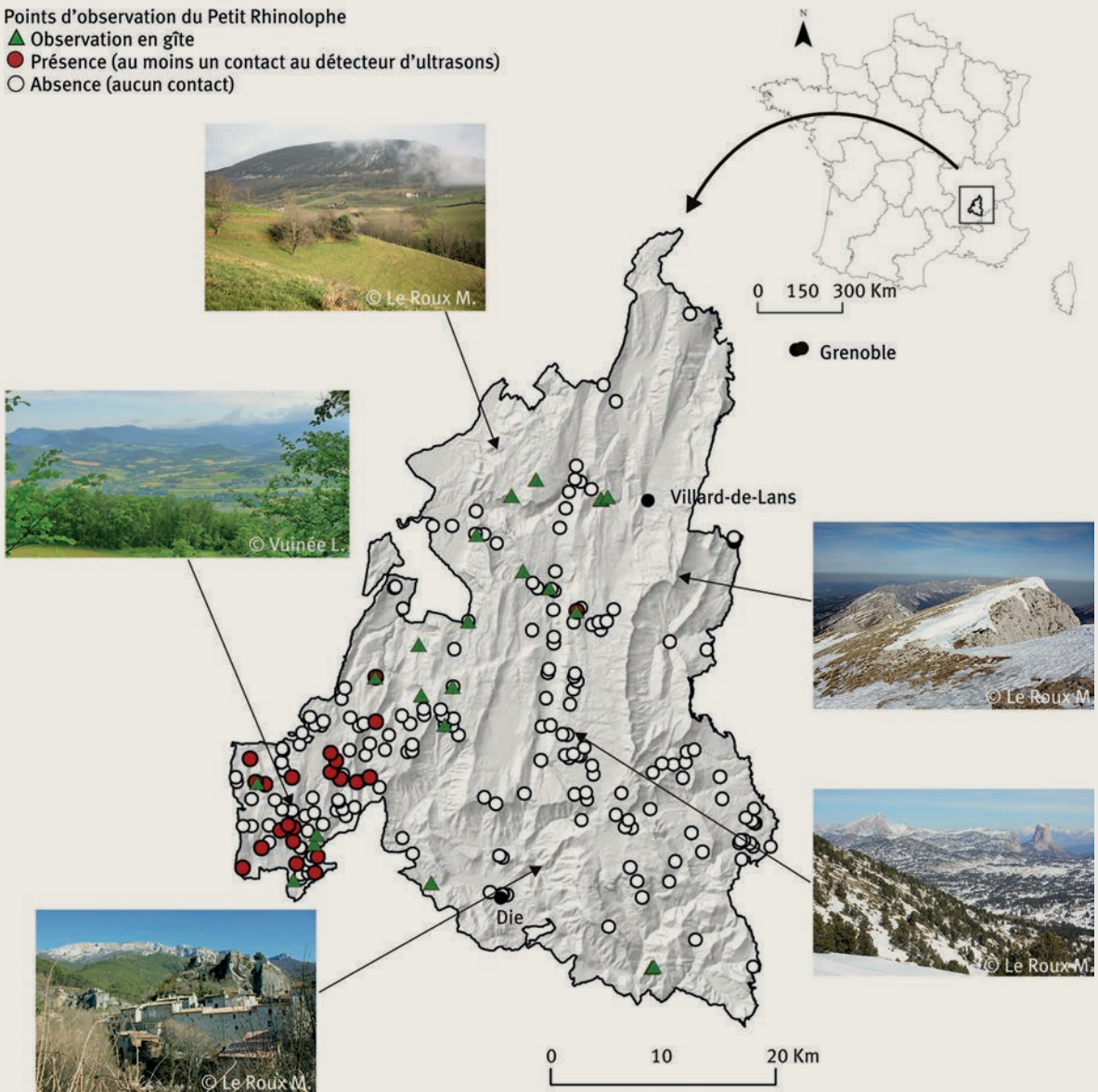
1 Représentation schématique d'une matrice paysagère selon la théorie des graphes appliquée au cas du Petit Rhinolophe.



2 Zone d'étude et données d'observation du Petit Rhinolophe. Sources : LPO Drôme et Isère (points d'inventaire), IGN (2006).

Points d'observation du Petit Rhinolophe

- ▲ Observation en gîte
- Présence (au moins un contact au détecteur d'ultrasons)
- Absence (aucun contact)







❶ Paysage hétérogène  
du nord-ouest  
du massif du Vercors.

© D. Maréchal

ment orientée de connaître l'état initial d'un paysage. L'étude de la connectivité renseigne sur la localisation des nœuds les plus importants du réseau, c'est-à-dire ceux dont la disparition entraînerait une forte perte de connectivité dans l'ensemble du paysage. Elle renseigne également sur l'ensemble des corridors potentiellement les plus favorables aux déplacements des espèces.

### La cartographie des habitats favorables aux espèces sensibles

Les Chiroptères sont de mieux en mieux connus et de plus en plus étudiés. Il s'avère que la majorité d'entre eux sont très sensibles aux modifications de leur environnement. Les trente-quatre espèces de chauves-souris recensées en France sont des espèces protégées au niveau national. Toutefois, même si les méthodes d'observation des chauves-souris évoluent et se multiplient, il est encore difficile de prédire précisément leurs réactions face aux modifications du paysage. C'est pourquoi les méthodes de modélisation peuvent compléter les connaissances de terrain et les observations des experts. Dans le cadre de la directive « Habitat-Faune-Flore », la cartographie de la distribution des habitats favorables aux espèces sensibles est un outil permettant de mieux les connaître et les localiser pour mieux les protéger. C'est dans cette optique que le projet MocHab (« Modélisation de la distribution des espèces : un outil pour l'évaluation, la conservation des habitats d'espèces et des continuités écologiques ») a été réalisé en partenariat avec l'Office national des forêts (ONF) et les Ligues pour la protection des oiseaux (LPO) de la Drôme et de l'Isère. L'étude s'est déroulée en deux parties :

- la modélisation de la distribution des habitats favorables à l'activité de chasse des Chiroptères sur deux sites d'étude : en montagne (parcs naturels régionaux du Vercors et de la Chartreuse) et en plaine (forêt domaniale de Tronçais). Ceci a été réalisé pour dix espèces de chauves-souris : Barbastelle d'Europe (*Barbastella barbastellus*), Murin de Daubenton (*Myotis daubentonii*), Murin à moustache (*Myotis mystacinus*), Murin de Natterer (*Myotis nattereri*), Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*), Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*), Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), Grand Rhinolophe (*Rhinolophus ferrumequinum*) et Petit Rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*) ;
- l'analyse de la connectivité entre gîtes et habitats favorables des deux espèces de Rhinolophes sur le massif du Vercors (figure 2).

Le présent article s'appuie sur les résultats de modélisation de la distribution et de la connectivité des habitats du Petit Rhinolophe.

### Étude de cas : distribution des habitats favorables et analyse de la connectivité paysagère appliquées au Petit Rhinolophe

Les méthodes de modélisation et d'analyse de la connectivité paysagère mise en œuvre pour les espèces de Rhinolophe dans le cadre du projet MocHab est adaptable à diverses espèces ou divers groupes d'espèces d'autres taxons. L'analyse de connectivité paysagère appliquée au Petit Rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*) présente les étapes successives nécessaires à la mise en œuvre de cette méthode d'étude.

### Le Petit Rhinolophe : une espèce sensible à la connectivité paysagère

Les chauves-souris sont des animaux qui présentent une biologie et une écologie atypiques. Ce sont des mammifères volants, nocturnes, insectivores et hibernants l'hiver. La technique de chasse des chauves-souris découle directement de leur système d'écholocation<sup>1</sup> et de la fréquence d'émission de leurs cris. Plus la fréquence d'émission est basse et de forte puissance, plus leurs cris portent loin et plus le repérage des obstacles et des proies est précis, et inversement. Les espèces de Rhinolophes font partie des espèces qui émettent à haute fréquence (entre 80 kHz et 110 kHz) et ont une distance de détection très courte de l'ordre de 5 mètres et chassent avec grande précision. Par conséquent, elles ont besoin d'évoluer dans un paysage structuré avec beaucoup d'éléments linéaires dont elles se servent comme points de repères pour leur déplacement (haies, lisières, bâtiments, ponts) (photo ❶ et figure ❶). En revanche, les espaces « vides » comme les grandes zones agricoles, les zones de sol nu et les lits de rivières constituent des barrières à leurs déplacements. De plus, les cris des chauves-souris étant émis en discontinu (de l'ordre de 5 à 10 cris par seconde en déplacement simple), les objets en mouvement sont très difficiles à anticiper. Les routes représentent un obstacle qui peut être mortel pour les espèces à faible distance de détection telles que les Rhinolophes (Arthur et Lemaire, 2009).

### Modélisation de la distribution des habitats favorables au Petit Rhinolophe

Le Petit Rhinolophe est connu pour être une espèce de basse à moyenne altitude (jusqu'à 1 200 mètres). Il est caractéristique des milieux semi-ouverts et structurés avec une préférence pour les territoires de chasse dans des forêts de feuillues ou mixtes, ouvertes et à proximité des milieux aquatiques. L'espèce peut aussi chasser dans des milieux plus ouverts comme des prairies entourées de haies et éventuellement de vergers (photo ❶). Les gîtes d'été du Petit Rhinolophe se trouvent souvent dans des structures artificielles (combles de bâtiment et autres constructions), ce qui contraste avec ses territoires de chasse et l'oblige à se déplacer.

Pour créer une cartographie des zones d'habitats favorables aux espèces de chauves-souris, il existe différentes méthodes et algorithmes de modélisation visant à associer les points d'observation à une combinaison de facteurs environnementaux selon des formules plus ou moins complexes. Pour comparer ces méthodes et choisir la plus adaptée à l'espèce, des plateformes de modélisation ont été développées. Dans le cadre du projet MocHab, la plateforme de modélisation Biomod2 implémentée sur R a été utilisée (Thuiller *et al.*, 2009).

Deux types de données d'entrée sont nécessaires pour calculer les modèles de distribution :

- des données d'observation de l'espèce (points de présence/absence). Dans le cas du Petit Rhinolophe, les données d'observation renseignent sur l'activité nocturne de l'espèce. Elles ont été récoltées par les LPO de la Drôme et de l'Isère en utilisant des détecteurs d'ultrasons<sup>2</sup>. La détermination de l'espèce se fait par écoute directe ou par analyses *a posteriori* des enregistrements ;

- des données environnementales spatialisées (rasters recouvrant l'ensemble de la zone d'étude) représentatives des besoins écologiques de l'espèce (modèle numérique de terrain, type de forêt, distances aux zones humides, densité du réseau routier...).

L'étude réalisée dans le cadre du projet MocHab a montré que sur la zone d'étude de montagne, le modèle Maxent (maximum d'entropie) est l'un des plus performants statistiquement. Il apporte en effet les meilleurs résultats cartographiques en termes de localisation des habitats favorables aux espèces de chauves-souris. Les nœuds à forte probabilité de présence, c'est-à-dire les habitats potentiellement les plus favorables, sont ensuite extraits pour l'étude de la connectivité (figure ❷).

Une analyse des courbes de réponse renseigne sur les configurations écologiques les plus favorables à l'espèce et qui structurent la répartition spatiale de ses habitats. Pour le Petit Rhinolophe, l'altitude et la densité du réseau routier sont d'autant plus favorables à l'espèce qu'ils sont faibles. De plus, elle présente une préférence marquée pour les forêts feuillues pendant l'activité de chasse. Ceci est en accord avec la lecture de la carte de distribution des habitats favorables du Petit Rhinolophes. Elle montre une plus forte probabilité de présence au sud, sud-ouest et ouest du Vercors, ce qui correspond aux contreforts du massif à plus basse altitude et donc plus riches en feuillus (figure ❷, encadré a). Pour valider la carte, il est indispensable de confronter ces résultats aux observations de terrain et aux connaissances des experts, ce qui pour le Petit Rhinolophes confirme les connaissances de son écologie.

### Importance des gîtes et des habitats favorables pour la connectivité du paysage

Les nœuds d'habitats favorables à l'activité nocturne des chauves-souris ont été combinés avec les gîtes recensés sur le terrain (second type de nœuds dans le réseau). À partir des résultats de la modélisation, chaque nœud est attribué d'une note de qualité de l'habitat (figure ❶). Cet attribut correspond à une évaluation globale de la qualité des habitats et peut prendre en compte l'état de conservation d'un écosystème, des indices de biodiversité, le niveau de protection ou, dans le cas présent, la moyenne des probabilités de présence. Pour les chauves-souris, les gîtes où elles ont été observées prennent la valeur maximale. Un logiciel de quantification de l'importance des nœuds pour la connectivité, Conefor 2.2, a permis d'établir des cartes de hiérarchisation des gîtes et des habitats favorables (Saura et Torné, 2009).

1. L'écholocation est la capacité à se représenter l'environnement spatial en trois dimensions par émission et réception d'ultrasons (10 à 110 kHz pour les Chiroptères). Chez les chauves-souris, ce système vient en complément d'une vue assez bien adaptée à la vie nocturne (Arthur et Lemaire, 2009). D'autres espèces de cétacées, oiseaux et musaraignes utilisent ce système de repérage.  
2. Les détecteurs d'ultrasons sont des boîtiers permettant de rendre audible les ultrasons émis par les chauves-souris. Différents systèmes existent tels que les boîtiers transformant en direct les ultrasons en sons audibles (système hétérodyne) ou les boîtiers qui étendent le signal dans le temps pour des analyses ultérieures précises (expansion de temps).



► Divers indices sont calculables par ce logiciel, l'un des indices (probabilité de connectivité : dPC) renseigne sur la perte de connectivité qu'occasionnerait la destruction d'un nœud au sein du paysage (figure 3, encadré b). Cette analyse renseigne sur les zones importantes pour la connectivité de l'ensemble du paysage, mais aussi sur les secteurs dont la connectivité est à améliorer.

### Résistance au déplacement et à la dispersion de l'espèce

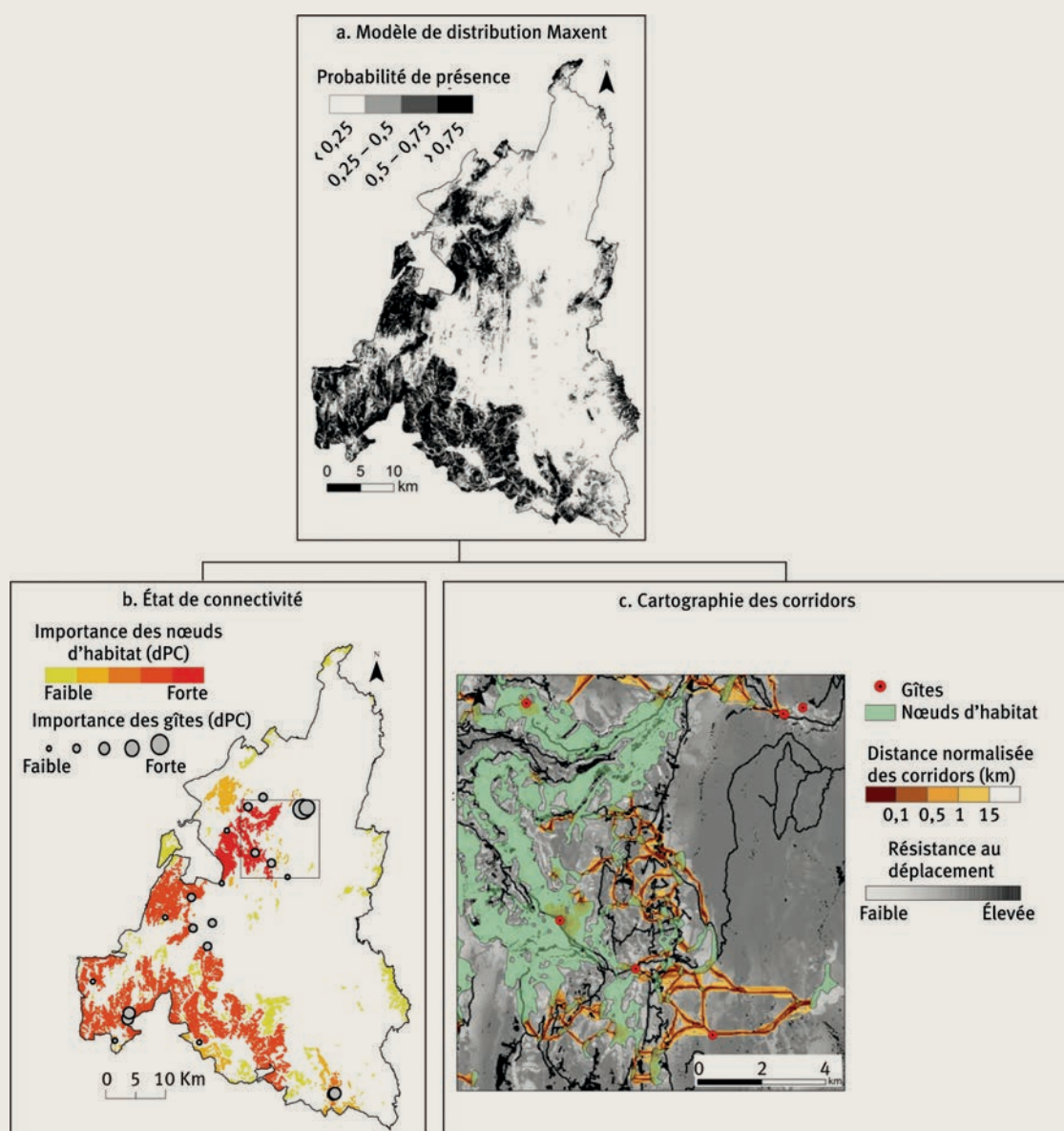
Un état des lieux sur le mode de déplacement et de dispersion des espèces a été réalisé à partir des connaissances issues de la bibliographie et des experts naturalistes de la région. Des données de suivi par radiopistage ont en particulier permis d'enrichir les connaissances sur les distances de dispersion par espèce. Cette information est fondamentale pour toute étude de connectivité.

Une carte de résistance aux déplacements a été élaborée à partir des modèles de distribution spatiale après une transformation linéaire. Ainsi, les habitats favorables à forte probabilité de présence (proche de 1) opposent une faible résistance au déplacement et les habitats à faible probabilité de présence (proche de 0) opposent une forte résistance aux déplacements.

Ensuite, des éléments importants et/ou absents de l'étude de modélisation de distribution ont été superposés à la carte de résistance. Pour le cas des Rhinolophes, les routes, les zones de sol nu et les vastes zones agricoles intensives opposent la plus forte résistance au déplacement (figure 3, encadré c).

La carte de résistance constitue la base nécessaire à la construction et la cartographie des chemins potentiellement favorables à la dispersion des espèces.

### 3 Projections spatiales du modèle de distribution et de connectivité du Petit Rhinolophe sur le massif du Vercors.



## Cartographie des corridors

Les connections possibles entre les gîtes et les habitats favorables ont été cartographiées grâce à un logiciel spécifique, Linkage Mapper, où la carte de résistance est le support à la construction des corridors. Le parcours reliant deux nœuds entre eux est celui qui passe systématiquement par les zones où la résistance au déplacement est la plus faible. La distance obtenue est d'autant plus courte que les nœuds sont proches et sont séparés par des zones à faible résistance au déplacement, il s'agit donc d'une distance de moindre coût de déplacement. La carte produite présente alors l'ensemble des chemins possibles pour aller d'un nœud vers un autre dans l'ensemble du réseau (figure 9, encadré c).

Dans le cas du Petit Rhinolophe, les corridors suivent pour la plupart les linéaires des routes et les lisières de tous types. Ce que l'on sait du déplacement de cette espèce confirme les résultats des modèles. Mais les cartes montrent aussi des passages obligés des gîtes vers les nœuds d'habitats favorables en passant par des milieux défavorables à l'espèce.

### La cartographie spatiale : un outil de gestion et d'aide à la décision

Il est important de noter que les cartes de distribution et de connectivité calculent la présence potentielle d'éléments du paysage favorables aux espèces. Ces outils de simulation peuvent compenser des manques d'observations de terrain dans des zones non échantillonnées ou difficiles d'accès par exemple. Ce sont aussi des outils qui aident à la compréhension du paysage et de sa dynamique.

Dans des cas ciblés (construction de routes, destruction de milieux...) et si les problématiques de gestion sont bien identifiées, des analyses de connectivité peuvent apporter des réponses aux questions liées à la gestion des milieux. De plus, il est possible d'aller plus loin en déterminant les corridors les plus importants pour la connectivité et en analysant plus précisément quels sont les éléments constituant des barrières ou au contraire des points clés du réseau.

Une compréhension complète du paysage nécessite de synthétiser l'ensemble des informations récoltées sur le déplacement des espèces et sur l'état de connectivité du paysage. Il est nécessaire de mettre en relation les connaissances sur les espèces, les observations de terrain et ce que les modèles montrent tout en considérant leurs limites. Par ce fait seulement, les modèles de distribution et de connectivité peuvent être des outils de gestion et de soutien à la conservation des espèces et de leurs habitats en répondant à ces questions :

- dans quelles conditions écologiques les espèces vivent préférentiellement ?
- quels sont les habitats cibles à améliorer, à protéger ?
- où intervenir ?
- quelles trajectoires les espèces empruntent-elles préférentiellement pour se disperser ?
- quels obstacles rencontrent-elles ?
- quels corridors cibles faut-il améliorer, protéger ?

## Conclusion

Pour réaliser une étude de connectivité à l'aide de la modélisation spatiale, plusieurs étapes sont nécessaires. Il faut d'abord identifier les problématiques et les enjeux du paysage dans son ensemble. Il faut en parallèle connaître les espèces, leur écologie et leur mode de déplacement afin d'identifier les éléments qui peuvent structurer la distribution et la dispersion des espèces. Le regroupement de toutes les données spatiales renseignent sur l'utilisation du paysage par les espèces. L'une des principales limites à ces outils d'analyse est le manque d'informations, de connaissances ou de niveau de détails. L'appui des experts et des gestionnaires s'avère donc essentiel pour pallier à ces manques, mais aussi pour valider les résultats par leurs propres connaissances et vérifications de terrain. Ainsi les modèles de distribution et de connectivité sont des outils efficaces permettant d'orienter la gestion des paysages en intégrant la conservation des espèces. ■

### Les auteurs

#### Marie LE ROUX et Sandra LUQUE

Irstea – UR EMGR, Écosystèmes montagnards  
2 rue de la papeterie – BP 76

F-38402 Saint-Martin-d'Hères – France

✉ [leroux.marie74@gmail.com](mailto:leroux.marie74@gmail.com)

✉ [sandra.luque@irstea.fr](mailto:sandra.luque@irstea.fr)

#### Stéphane VINCENT

LPO Drôme

10 rue Roch Grivel – F-26400 Crest – France

✉ [stephane.vincent@lpo.fr](mailto:stephane.vincent@lpo.fr)

#### Ophélie PLANCKAERT

LPO Isère

Maison de la Nature et de l'Environnement de l'Isère

5 place Bir Hakeim – F-38000 Grenoble – France

✉ [responsable-epg.isere@lpo.fr](mailto:responsable-epg.isere@lpo.fr)

### EN SAVOIR PLUS...

■ **ARTHUR, L., LEMAIRE, M.**, 2009, *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*, Parthenope Collection, Biotope Eds., 544 p.

■ **DECOUT, S., MANEL, S., MIAUD, C., LUQUE, S.**, 2012, Integrative approach for landscape-based graph connectivity analysis: a case study with the common frog (*Rana temporaria*) in human-dominated landscapes, *Landscape Ecology*, n° 27, p. 267-279.

■ **FAHRIG, L.**, 2003, Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, n° 34, p. 487-515.

■ **SAURA, S., TORNÉ, J.**, 2009, Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity, *Environmental Modelling & Software*, n° 24, p. 135-139.

■ **THUILLER, W., LAFOURCADE, B., ENGLER, R., ARAUJO, M.-B.**, 2009, BIOMOD—a platform for ensemble forecasting of species distributions, *Ecography*, n° 32, p. 369-373.