

Analyse de la connectivité de la trame des vergers et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération

Programme Interreg

« Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses »



Septembre 2021

Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération

Programme Interreg

« Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses »

Programme financé par :

Interreg
France - Suisse



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra



Fondation
Rurale
Interjurassienne
COURTEMELON LOVERESSE

JURA CH
RÉPUBLIQUE ET CANTON DU JURA



Kanton Bern
Canton de Berne

RÉGION
BOURGOGNE
FRANCHE
COMTÉ



pays de
Montbéliard
AGGLOMÉRATION

Vergers Vivants

23 rue des Aiges
25230 VANDONCOURT

☎ : 03.81.37.82.26

@ : contact@vergers-vivants.fr



LPO Bourgogne-Franche-Comté

Comité Territorial Franche-Comté

Maison de l'Environnement Bourgogne-Franche-Comté

7, rue voirin
25000 Besançon

☎ : 03 81 50 43 10

@ : franche-comte@lpo.fr



AGIR pour la
BIODIVERSITÉ
BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

Rédaction : Ondine Dupuis, Amélie Vaniscotte, Sébastien Suire

Relecture : Cyrielle Bannwarth, Régis Huet

Photo de couverture : © O. Dupuis, 2019

Référence du document : Dupuis O, Vaniscotte A et S. Suire (2021). Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50 p.

2 Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021). Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

Table des matières

Table des matières	3
Introduction.....	4
Matériel et méthode	7
Composition de la carte d'occupation du sol	7
Composition de la liste d'espèces	10
Construction des graphes.....	14
Mesure de la connectivité.....	14
Corridors.....	15
Assemblage des métriques et connectivité.....	16
Impact de l'urbanisation.....	16
Résultats	18
Connectivité pour l'ensemble des groupes.....	18
Analyse spécifique de la connectivité pour la Chevêche d'Athéna.....	24
Impact des projets d'urbanisation sur la connectivité des vergers pour la Chevêche d'Athéna.....	31
Discussion	33
Références.....	38
Annexes	44

Introduction

Les vergers haute-tige sont des milieux semi-ouverts caractérisés par l'association de prairies fauchées ou pâturées et des fruitiers haute-tige (tronc haut à 1,80m ou plus contre 60cm à 1m20 pour les vergers basse-tige) de faible densité (généralement inférieure à 100 arbres à l'hectare), servant ainsi d'interface entre les milieux ouverts et fermés. Cette association fait du verger un milieu très riche en micro-habitats servant de refuges, lieux de reproduction et de ressources alimentaires pour la biodiversité, en particulier si le verger est géré de façon extensive avec notamment la présence de fruitiers de différentes classes d'âge avec vieux arbres à cavités, arbres morts, bandes enherbées, buissons etc (7). Pour cette raison, le verger haute-tige (aussi appelé pré-verger) est considéré comme l'un des milieux anthropisés les plus intéressants et attractifs pour la biodiversité (Bailey et al., 2010). De plus, offrant la possibilité de concilier élevage et culture sur un minimum de terres, le verger haute-tige permet une double activité pour l'agriculteur tout en étant très attractif pour de nombreuses espèces. La combinaison de la pâture et des fruitiers permet de faire émerger une synergie entre les deux modes de cultures. Lorsque la pression de pâturage n'est pas trop importante, le bétail maintient la hauteur de l'herbe et limite le parasitisme alors que les arbres procurent une protection contre le soleil et le vent tout en accueillant une faune capable de réguler les ravageurs, que l'on appelle la faune auxiliaire (Coulon et al.,2005).

Cependant, avec une réduction de surface d'au moins 80% en 50 ans en France, le verger haute-tige est un agrosystème en fort recul et dont les parcelles restantes sont souvent sujettes au vieillissement. C'est le cas sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération (PMA) où les vergers traditionnels sont menacés par l'urbanisation ou l'abandon, ce qui entraîne une fragmentation de cet habitat. Afin de travailler à la préservation de ce milieu et des espèces associées, le maintien d'un réseau suffisamment dense et diversifié de vergers sur le territoire et d'une connexion entre ces vergers est indispensable. Cette notion de continuité écologique est traduite par l'outil Trame Verte et Bleue, mis en place par le Grenelle de l'Environnement.

Dans la présente étude, le réseau écologique constitué par les vergers haute-tige et milieux associés (prairies, haies, ...) sur le territoire de PMA est analysé, qu'on appelle la trame des vergers. L'objectif de l'étude est d'étudier la connectivité des vergers sur le territoire de PMA à partir d'une modélisation sous la forme de graphes paysagers grâce au logiciel Graphab.



Une trame des vergers est identifiée dans le Schéma de Cohérence Territoriale (Scot) Nord Doubs (cf. Annexe 1) (ADU, 2019) associée à la sous trame des milieux agricoles en mosaïque paysagère du Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE) Franche-Comté (Région BFC, 2015). Cette carte de la Trame « vergers » s'avère toutefois incomplète, s'appuyant uniquement sur l'inventaire des fruitiers réalisés entre 2009 et 2011 sur 29 communes, et ne prend pas en compte les inventaires réalisés entre 2018 et 2020 sur les 42 communes ayant intégré la Communauté d'Agglomération au 1er janvier 2017. Par ailleurs, en dissociant vergers et prairies, l'approche utilisée ne prend pas en compte la notion de fonctionnalité écologique qui associe ces deux types de milieux complémentaires.

Afin d'étudier la connectivité des trames, la théorie des graphes suivie dans l'étude selon laquelle le paysage est représenté sous forme de nœuds (taches d'habitats) reliés fonctionnellement par des liens (corridors pour les espèces) est de plus en plus utilisée : cette approche a notamment été utilisée, pour exemples, pour élaborer le Schéma Régional de Cohérence Ecologique de Picardie, pour définir la trame verte et bleue du SCoT du Haut-Jura, celle du SCoT de l'Agglomération Berruyère, ou du Scot de l'Agglomération du Niortais (Clauzel et Bonnevalle, 2019 ; Enviroscop, 2015 ; PNR HJ, 2017 ; Citadia, 2013 ; Niort Agglo, 2020). De plus, l'Agence d'Urbanisme et de Développement Durable Lorraine Nord a élaboré une Trame Verte et Bleue à l'échelle de 5 intercommunalités, dont les couches cartographiques peuvent être transmises aux bureaux d'études lors de l'élaboration de documents de planification (Agence d'Urbanisme et de Développement Durable Lorraine Nord, 2018).

Cette représentation permet de modéliser la connectivité des habitats à travers une matrice hétérogène, sur la base des capacités de déplacement et de dispersion des espèces en fonction de la perméabilité du milieu traversé, mais également des capacités d'accueil des taches d'habitat (Urban & Keitt, 2001). Pour cela, deux éléments sont nécessaires : la connaissance de l'occupation du sol ainsi que les exigences écologiques des espèces étudiées. Les graphes paysagers possèdent l'avantage de pouvoir servir d'interface entre la recherche et les opérateurs. En effet, en plus de la cartographie des corridors écologiques, ils peuvent être utilisés pour déterminer l'impact de projets d'aménagement, aider à la mise en place de projets de restauration, ou encore prioriser les corridors à préserver pour maintenir la fonctionnalité des réseaux écologiques (Girardet et Clauzel 2017). Plusieurs outils informatiques ont été développés afin de rendre la modélisation de graphes paysagers accessible en dehors du domaine de la recherche. Parmi ces outils existe le logiciel Graphab, développé par le laboratoire THEMA (UMR CNRS) (Foltête et al., 2012). Ce logiciel regroupe toutes les fonctionnalités nécessaires à l'élaboration de graphes paysagers et à leur

analyse tout en les visualisant directement grâce à une interface graphique. Il a été développé en Franche-Comté sur la base de différents travaux conduits par le laboratoire Théma, en lien avec les associations locales (CPEPESC FC et LPO BFC). Des travaux ont été menés sur la modélisation de réseaux d'habitats et l'impact d'infrastructures (LGV Rhin-Rhône) sur les continuités écologiques à large échelle (Foltête et al., 2014 ; Girardet et al., 2013). Sur cette même infrastructure, il a permis de proposer une localisation optimisée des passages à faune (Girardet et Clauzel, 2017). D'autres publications portent sur la modélisation de réseau et l'identification via le logiciel de sites préférentiels pour des opérations de restauration ou création d'habitats, notamment en Franche-Comté pour la préservation d'amphibiens, en lien avec la LPO BFC (Clauzel et al., 2015 ; Clauzel et al. 2013). Le logiciel GRAPHAB a été mobilisé pour la modélisation de réseau de pelouses sèches dans le cadre de l'élaboration des trames vertes et bleues du SCOT Bisontin (AUDAB, 2016). Plus récemment, le plan d'actions régional en faveur des pelouses sèches porté par le CEN FC a fait l'objet d'une expertise de la LPO FC faisant appel à une analyse via GRAPHAB (LPO FC – CEN FC, 2020). Une étude spécifique a également été menée par l'EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue pour le territoire Loue-Lison (EPAGE, 2020). La modélisation des continuités écologiques forestières du SCOT de l'Agglomération messine a été obtenue par l'utilisation du logiciel « Graphab » (Syndicat Mixte du SCOTAM, 2014). Cet outil, couplé avec "Biodispersal" développé par l'IRSTEA et l'AFB, a été intégré dans Topos par l'Agence d'Urbanisme des Territoires de l'Orléanais pour suivre les évolutions de la TVB, pour identifier des secteurs à enjeux et produire des indicateurs. (Topos, 2020)

L'étude porte donc sur l'analyse de la connectivité de la trame vergers sur le territoire de PMA en se basant sur un choix d'espèces utilisant les vergers et milieux associés. Il s'agira d'identifier les zones de connectivité comme de fragmentation au sein du réseau d'habitats, de mettre en évidence les zones de vergers importantes de la trame. De plus, l'impact des zones prévues à urbaniser dans les documents d'urbanisme sera modélisé afin d'évaluer l'évolution future de la connectivité des vergers.



Matériel et méthode

L'approche générale est centrée sur les taches d'habitat, ici les vergers référencés sur le territoire du Pays de Montbéliard Agglomération présentant 72 communes. La modélisation du réseau (graphe) des taches de vergers a nécessité i) la construction d'une carte d'occupation du sol pour le territoire étudié et ii) d'établir une liste d'espèces de vertébrés (oiseaux et mammifères) et d'insectes considérées comme représentatives de cet habitat et enfin iii) de recueillir les données de déplacements (distance de dispersion et préférences de déplacement) pour ces espèces au sein de la matrice paysagère (Foltête et al., 2012).

Composition de la carte d'occupation du sol

La carte d'occupation du sol a été réalisée à partir de données vectorielles issues de différentes sources (Tabl.1). Les couches ont été rasterisées R puis superposées en fonction du code raster qui leur a été attribué, les codes les plus élevés se retrouvant au-dessus des autres (R Core Team, 2019 ; Bivand, 2019). Les éléments les plus importants en fonction de la préférence écologique des espèces retenues ont des codes rasters élevés afin de ressortir. Seules les routes sont placées au-dessus des vergers car il s'agit d'un élément fragmentant du paysage. La carte finale est d'une résolution de 5 m.

Peu de bibliographie existe pour définir spatialement un verger (Gallandat et al., 1995). De plus, il n'y a pas d'espèces inféodées uniquement aux vergers, mais plutôt aux milieux semi-ouverts. Un verger est ici considéré comme une mosaïque d'habitats composée d'arbres fruitiers, de prairies fauchées ou pâturées. La couche de vergers a été constituée à partir de l'inventaire des arbres fruitiers réalisé par Vergers Vivant. L'inventaire a été réalisé entre 2005 et 2011 pour 29 communes et en 2017 pour les 43 autres communes. L'actualisation de l'inventaire est en cours mais les données n'étaient pas accessibles au moment de l'étude. Un tampon de 50 m a été créé autour des arbres fruitiers inventoriés afin de définir les zones de vergers du territoire, afin de considérer ces zones de vergers non pas comme la présence seule d'arbres fruitiers mais bien la complémentarité des fruitiers avec la mosaïque d'habitats ouverts et semi-ouverts étroitement liée comme en particulier les prairies, qui ont un rôle primordial dans la fonctionnalité écologique des vergers. La distance de 50 m, inspirée d'une méthodologie mise en place par Vergers Vivants (Guessier, 2019), permet donc de prendre en compte cette mosaïque d'habitats qui les accompagne (Häseli et Weibel, 2000). Toutes les zones tampons de 50 m autour des fruitiers qui se croisent forment ainsi la couche de l'habitat étudié : les zones de vergers (vergers et milieux associés). A cette

couche sont ensuite retirées les parties recouvertes par le tissu urbain. Seules les taches d'habitats d'au moins 1ha ont été conservées afin d'exclure les arbres isolés.

Les lisières représentent un élément important dans un paysage hétérogène. Il s'agit d'une zone de transition plus ou moins étendue entre deux milieux (Dajoz, 2006). On cherche ici à modéliser les lisières forestières car il s'agit de la transition entre un milieu fermé et un milieu ouvert. Ces lisières forestières ont été modélisées à partir de la couche de forêts. La profondeur de l'effet de lisière, et donc la taille de la lisière à représenter, varie selon les espèces et l'occupation du sol de chaque côté de la lisière mais pour simplifier la modélisation un tampon fixe de 15m a été appliqué de part et d'autre de chaque extrémité de forêt (Jantzen et Fenton, 2013 ; Li et al., 2007).

Enfin, comme mentionné précédemment, les routes représentent la plupart du temps des barrières pour la dispersion des espèces (Huijser et Bergers, 2000 ; Benítez-López et al., 2010; Rytwinski et Fahrig, 2012). La taille et la fréquentation des routes les rendent plus ou moins infranchissables. C'est pourquoi les routes identifiées comme les plus problématiques en termes de connectivité ont été placées dans une couche à part pour y attribuer un coefficient de perméabilité différent (ADU Pays de Montbéliard, 2019).



Tableau 1 : Couches utilisées pour la former la couche d'occupation du sol

Catégorie	Source	Code Raster
Cultures	RPG (ASP) + CLC (IGN)	1
Prairies	RPG (ASP)	2
Forêts	BD TOPO (IGN)	3
Zones humides	CENFC + Sigogne	4
Lisières forestières	Modélisation à partir de BD TOPO (IGN)	5
Eaux stagnantes	BD TOPO (IGN) + Sigogne	6
Carrières	CLC 2012 (IGN)	7
Urbain dense	BD TOPO (IGN) + VV	8
Urbain diffus	BD TOPO (IGN) + VV	9
Eaux courantes	BD TOPO (IGN)	10
Haies	BD TOPO (IGN)	11
Vergers	Modélisation à partir de l'inventaire de VV	12
Routes	BD TOPO (IGN)	13
Routes barrières	BD TOPO (IGN) + SCOT Nord Doubs(10)	14



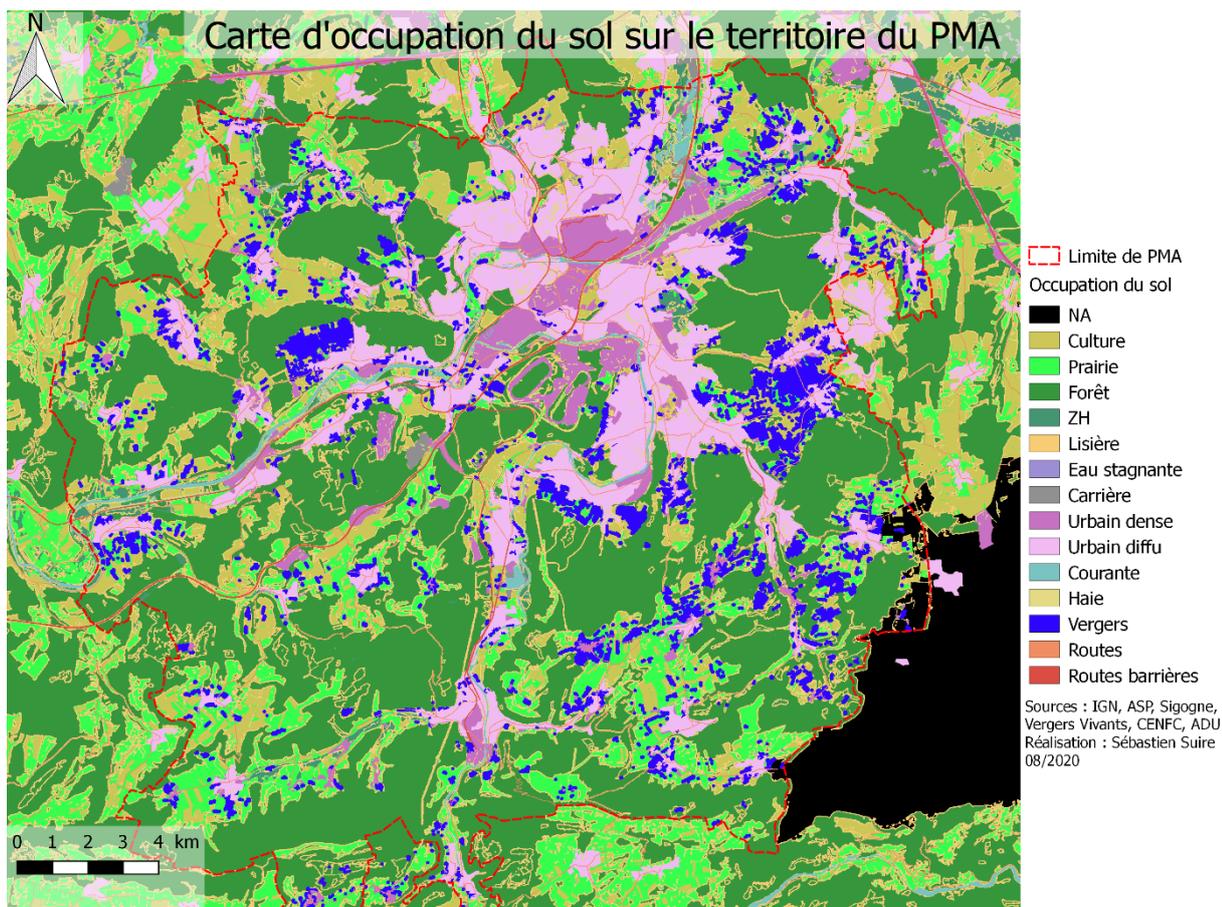


Figure 1 : Carte d'occupation du sol sur le territoire de PMA

Composition de la liste d'espèces

La sélection des espèces a été réalisée suivant plusieurs critères :

- Espèces à enjeux rencontrées dans les vergers, milieux semi-ouverts, bocagers en Franche-Comté
- Espèces présentes sur le territoire d'étude : le Pays de Montbéliard Agglomération
- Espèces sensibles à la fragmentation des habitats (selon la bibliographie et la liste des espèces pour la cohérence nationale de la Trame verte et Bleue)

Pour l'entomofaune, il a été choisi de se concentrer sur des espèces pollinisatrices, c'est-à-dire les familles de rhopalocères et d'hyménoptères. Parmi ces taxons, aucune espèce à enjeu n'ayant été identifiée sur la zone d'étude, il a donc été considéré le groupe d'espèces global de ces deux familles pour l'étude, en distinguant les espèces à petite dispersion et les espèces à grande dispersion.

Les espèces sélectionnées sont:

- La Chouette chevêche, *Athene noctua* (Scopoli, 1769) pour le groupe de l'avifaune. Cette espèce est emblématique des vergers en Franche-Comté même si elle niche également dans les cavités des vieux bâtiments. Les vergers lui offrent la mosaïque d'habitats semi-ouverts dont elle a besoin : les prairies pour chasser, les fruitiers ou arbres isolés avec cavités pour nicher et pour chasser à l'affût. Cette espèce est en déclin modéré aujourd'hui en Franche-Comté et est « Vulnérable » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de Franche-Comté (Giroud. et al., 2017). Elle fait l'objet d'un Programme Régional d'Actions en Franche-Comté porté par la LPO BFC, dont certaines actions sont déclinées sur le territoire de PMA (Bannwarth et Maas, 2012 ; Bannwarth et Maas, 2021). La Chevêche d'Athéna possède de faibles capacités de dispersion et est très dépendante de la structure du paysage pour se déplacer (Sordello et al., 2013). Ainsi, de par son aspect emblématique du milieu et sa sensibilité au maintien des continuités écologiques, la connectivité des vergers sur le territoire de PMA a été étudiée et présentée en fonction des exigences écologiques de cette espèce. La distance de dispersion utilisée pour l'étude sera celle des mâles étant donné qu'ils se dispersent à de plus faibles distances que les femelles (Mebis et Scherzinger). Une étude des distances de dispersion a été effectuée en Alsace à partir des données de 14 années de baguage effectué dans le Sud de l'Alsace. La moyenne de distance de dispersion des jeunes mâles nés dans le Haut-Rhin est de 3,6 km (LPO Alsace, 2019).

- Le Grand rhinolophe, *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1774) et le Petit Rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*). Ces deux espèces sont particulièrement sensibles à la fragmentation des habitats. Même si aucune colonie n'est pour le moment connue sur le territoire de PMA, elles sont présentes ou potentiellement présentes sur la zone (LACOSTE, 2019). L'étude des chiroptères se concentrera donc sur les déplacements quotidiens qu'effectuent ces espèces pour rejoindre leurs sites de chasse. Les territoires de chasse favoris du Grand Rhinolophe sont les milieux semi-ouverts de type vergers, prairies pâturées entourées de haies, friches, ripisylves, mais aussi forêt de feuillus (CPEPESC FC, 2015). Son mode de chasse à l'affût et sa hauteur de vol plus basse la lie fortement aux vergers pour chasser. La distance de déplacement quotidienne pour rejoindre les sites de chasse est similaire à celui du Petit Rhinolophe qui lui

aussi affectionne les vergers comme territoire de chasse (Arthur et Lemaire, 2009). On placera alors les deux espèces dans le même groupe.

- Le Hérisson, *Erinaceus europaeus* (Linnaeus, 1758). Il s'agit d'une espèce fréquentant les bocages, car il apprécie la présence de milieux prairiaux associées à des éléments du paysage de type haies ou buissons. Les haies sont des éléments indispensables pour les déplacements de l'espèce (Locquet et Clauzel, 2018). L'espèce souffre de l'agriculture intensive et pourrait grandement profiter d'un réseau de vergers haute-tige grâce à la gestion souvent extensive de ces parcelles. Il est à noter que le Hérisson d'Europe se déplace plus facilement que les autres espèces retenues dans les milieux urbains de faible et moyenne densité car il apprécie beaucoup les parcs et jardins où il trouve sources de nourriture et abris (Driezen et al., 2007). Cette espèce a été choisie car elle est très sensible à la fragmentation des milieux et ainsi sa dispersion est beaucoup étudiée (Rodriguez Recio et al., 2013).

- Entomofaune :

- Parmi les espèces pollinisatrices grands disperseurs, il y a par exemple le Bourdon des champs, *Bombus pascuorum* (Scopoli, 1763). Cette espèce fait partie des espèces inventoriées dans le cadre du programme Interreg (Ryelandt et Billant, 2019) et est très sensible à la fragmentation de son habitat et à la connectivité de celui-ci. Le caractère haploïde des mâles rend la dispersion des reines primordiales pour la dispersion des gènes et de l'espèce (Kreyer et al., 2004; Lepais et al., 2010). On peut également citer une autre espèce de rhopalocères : le Demi-deuil (Bergès et al., 2016).
- Dans le groupe des espèces de l'entomofaune petits disperseurs, on peut citer le Myrtil (*Maniola jurtina*), un papillon qui apprécie les milieux agricoles en mosaïque paysagère, les milieux semi-ouverts à ouverts. Cette espèce fait l'objet d'études en génétique du paysage (Villemey et Archaux, 2018).

Les perméabilités pour chaque groupe ont été attribuées en fonction de la littérature et à dire d'experts (Michel et al., 2000 ; Tournant, 2013 ; Sordello et al., 2013 ; Driezen et al., 2007 ; Doncaster et al., 2001 ; Haigh, 2011 ; LPO FC, 2018 ; Etienne, 2012). Pour l'approche de modélisation des graphes, une note de résistance (tableau 2) a été attribuée à chaque occupation du sol. La note de 1 représente les vergers, 10 les milieux favorables, 100 les milieux défavorables et 1000 les barrières. La différenciation des zones

12  Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021). Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

rupestres bâties des zones urbaines diffuses et denses n'a pas été réalisée. Pour la Chevêche d'Athéna et le Grand Rhinolophe qui peuvent trouver un gîte ou utiliser des cavités dans le rupestre bâti mais qui n'utilisent pas de manière importante le tissu urbain comme corridor, une note intermédiaire de perméabilité entre milieux favorables et milieux défavorables a été affectée.

Les distances prises en compte sont les distances moyennes de dispersion sauf pour les chiroptères pour lesquels la distance moyenne de déplacements quotidiens a été considérée.

Tableau 2 : Espèces sélectionnées avec les distances de dispersion et les valeurs de perméabilité associées

		Chiroptères	Insectes	Mammifères terrestres	Avifaune
Distance	1 km		Petits disperseurs		
	2,5 km	Grand rhinolophe, Petit rhinolophe			
	3,6 km				Chevêche d'Athéna
	4 km		Grands disperseurs	Hérisson d'Europe	
Perméabilité	Cultures	100	100	100	100
	Prairies	10	5	10	10
	Forêts	10	100	100	100
	Zones humides	10	10	100	10
	Lisières	10	10	10	100
	Eau stagnante	10	100	1000	10
	Carrières	10	1000	1000	1000
	Urbain dense	100	1000	1000	1000
	Urbain diffus	50	100	10	50
	Eau courante	10	100	1000	50
	Haies	10	5	10	10
	Vergers	1	1	1	1
	Routes	100	100	100	100
	Routes barrières	1000	1000	1000	1000

Construction des graphes

A partir de la carte d'occupation du sol et des données de dispersion et de perméabilité pour les espèces sélectionnées, le réseau écologique a été modélisé par la méthode des graphes paysagers via le logiciel Graphab (Foltête et al., 2012). Un graphe a été modélisé pour chacune des 5 espèces ou groupe d'espèces (voir Annexes 3, 4, 5 et 6). Chaque graphe est constitué d'un ensemble de nœuds, correspondant aux taches d'habitat de verger, reliés entre eux par des liens qui représentent des connexions potentielles entre ces taches et qui minimisent la distance ou le coût associé à son utilisation par l'espèce considérée (chemins de moindre coût) (Foltête et al., 2012). Des composantes sont alors mis en évidence : ce sont des zones qui regroupent les nœuds (vergers) reliés entre eux par des connexions mais isolés d'autres nœuds (d'autres vergers) avec lesquels il n'y a pas de connexions.

Les liens ont été modélisés en topologie complète pour obtenir tous les liens possibles entre toutes les paires de nœuds. Les graphes ont ensuite été seuillés aux distances de dispersion moyennes retenues pour chaque groupe de disperseur. Pour cela une conversion de la distance euclidienne en coût de déplacement a été réalisée grâce à l'ajustement de la régression linéaire de type : $\ln(\text{coût}) = a + b \times \ln(\text{distance métrique})$. Le graphe obtenu ne contient alors que les liens inférieurs ou égaux à cette distance.

Mesure de la connectivité

Les caractéristiques topologiques principales de chaque graphe (nombre de liens, nombre et taille des composantes) sont décrites ainsi que leur connectivité globale, estimée par la Probabilité de Connectivité (PC)(Annexe 2). La Probabilité de Connectivité est une métrique pondérée par la capacité (surface) des nœuds et représente la probabilité que deux individus pris au hasard se rencontrent au sein du réseau.

L'importance de chaque tache d'habitat et lien dans la connectivité globale du réseau a été estimée par des métriques locales : les Delta-métriques pour la Probabilité de Connectivité. La Delta métrique consiste à obtenir un taux de variation entre la valeur d'une métrique et la valeur de cette métrique suite à la suppression de la tache ou du lien. Elle permet de connaître la contribution d'un nœud ou d'un lien à la connectivité globale.

La métrique « Delta-PC » se décompose en 3 fractions décrivant différents niveaux de connectivité (Annexe 2) :

- la « dPC intra », traduisant l'importance d'une tache d'habitat en termes de surface (potentiel de ressource),
- la « dPC flux », traduisant l'importance d'une tache d'habitat comme réceptacle ou émetteur potentiel de disperseurs,
- La « dPC connector », traduisant l'importance d'une tache d'habitat ou d'un lien comme relais dans les mouvements de dispersion (pas japonais).

Pour les nœuds, les métriques « dPC Flux » et « dPC Connector » ont été calculés, la métrique de surface étant déjà connue. Pour les liens, seul le « dPC Connector » est applicable et a été considéré.

La distribution des valeurs des métriques n'étant pas normale et très concentrée autour de faibles valeurs, les éléments (liens ou nœuds) ayant les plus hautes valeurs de la métrique ont été mis en évidence en estimant les quantiles 90%, 99%, 99.9 ainsi que la valeur la plus élevée.

Corridors

Les liens entre les nœuds, c'est-à-dire les connexions entre les vergers, représentent les chemins de moindres coûts qui les relient. Ces chemins présentent un intérêt pour identifier les liens les plus importants au sein du réseau et pour la connectivité globale. Cependant, l'utilisation de chemins de moindres coûts présente des limites pour déterminer la connectivité des habitats. En effet, un unique chemin optimal est identifié entre chaque tache au détriment d'autres chemins possibles (Pinto et Keitt, 2009). Il est alors possible de représenter des zones de connectivité en faisant apparaître tous les chemins possibles entre chaque tache c'est-à-dire **les corridors** (Zetterberg et al., 2010). La fonction d'extraction des corridors a été utilisée afin de déterminer ces zones de connectivité. Le logiciel Graphab permet le calcul de l'ensemble des chemins reliant chaque paire de taches ayant une distance inférieure à une distance coût donnée. Cela permet d'identifier à la fois la surface potentiellement disponible pour le déplacement et la densité de chemins. Les corridors sont calculés en proportion, c'est-à-dire la pondération du nombre de chemins par rapport au maximum de chemins possibles.

Assemblage des métriques et connectivité

Afin d'obtenir une analyse globale de la connectivité des vergers, le réseau est décrit de manière synthétique au regard de l'ensemble des espèces étudiées.

Pour ce faire, la moyenne des métriques de connectivité (dPC Flux et dPC Connector), estimée pour chaque nœud du graphe sur l'ensemble des groupes de disperseurs, a permis de hiérarchiser les taches de vergers pour l'ensemble des disperseurs.

Aussi, les corridors de tous les groupes de disperseurs ont été agrégés pour identifier les zones de connectivité communes. Pour cela, le nombre de chemins de chaque groupe a été pondéré par son maximum. Cela permet de ramener les différents groupes à des valeurs comparables malgré un nombre de chemins différents à cause des distances de dispersion différentes ou des méthodes différentes (utilisation des méta-taches pour *A. noctua*). Les valeurs de chaque groupe sont ensuite additionnées pour obtenir une densité de chemins commune pour laquelle chaque espèce a la même influence.

Enfin, le nombre d'espèces ou groupes d'espèces pouvant passer par les corridors identifiés précédemment a été estimé et représenté.

Impact de l'urbanisation

Afin de mesurer l'impact des projets d'urbanisation sur la connectivité des vergers, une nouvelle carte d'occupation du sol est produite avec les zones AU (à urbaniser) des différents documents d'urbanismes des communes de PMA (source : Agence de Développement et d'Urbanisme du Pays de Montbéliard, 2018). Cette couche est placée au-dessus de toutes les autres et se voit attribuer une perméabilité de 1000 car considérée comme un milieu barrière pour les espèces (en considérant toutes les zones urbaines prévues comme du tissu urbain dense, la densité n'ayant pu être différenciée en fonction des projets). Le choix a été fait de considérer toutes les zones AU (celles prévues à la fois à court, moyen et long terme) en même temps pour simuler l'impact cumulé à moyen-long terme de cette future urbanisation. De nouveaux graphes sont alors produits avec la nouvelle carte d'occupation du sol. La Probabilité de Connectivité est de nouveau calculée et les zones de connectivité extraites et comparées avec l'état actuel afin de déterminer la perte de connectivité.

Limites méthodologiques

Les surfaces de vergers utilisées dans cette étude ne reflètent pas exactement l'état actuel exact des vergers. En effet, l'inventaire des arbres fruitiers était en cours de réactualisation sur 29 communes au moment de l'étude, les données n'ayant été disponibles qu'après la modélisation, les données de l'inventaire de 2011 sur ces 29 communes ont été utilisées. De plus, certaines zones « A urbaniser » (AU) ont déjà été urbanisées, en particulier sur les communes d'Allenjoie, Brognard et Dambenois, où la zone de vergers a donc déjà été impactée.

Par ailleurs, les exigences des espèces en terme de surface minimale de domaine vital n'ont pas été prises en compte ni les données de présence d'espèces, à l'exception de la Chevêche, pour l'interprétation des résultats de modélisation. Ces données peuvent être importantes pour préciser les réseaux de vergers qui dans la trame permettent réellement l'installation des espèces et constituer des réservoirs de biodiversité.

Les résultats sont organisés comme suit.

Dans un premier temps, l'analyse de la connectivité de la trame des vergers est effectuée par l'étude de manière synthétique du réseau au regard de l'ensemble des espèces.

Dans un deuxième temps, une attention particulière a été portée, liée à notre expertise et à la sensibilité de l'espèce, à l'interprétation du réseau de vergers au travers de la Chevêche d'Athéna en considérant son attractivité pour ce milieu même si cette espèce affectionne également le bâti ancien.

Enfin, l'impact de l'urbanisation sur la connectivité des vergers au travers des exigences écologiques liées aux vergers haute-tige de la Chevêche d'Athéna est présenté.

Résultats

Connectivité pour l'ensemble des groupes

Tableau 3 : Résumé des graphes pour chaque groupe : nombre de liens, de composantes et métrique globale

Taxon/Espèces (distance de dispersion)	Nombre de liens	Nombre de composantes	PC globale
<i>Hérisson d'Europe</i> (4000m)	15340	9	$1,96 \times 10^{-5}$
<i>Insectes grands disperseurs</i> 3000m	13606	18	$1,76 \times 10^{-5}$
<i>Chiroptères</i> (2500m)	10494	15	$1,48 \times 10^{-5}$
<i>Chevêche d'Athéna</i> 3000m	11732	20	$1,02 \times 10^{-5}$
<i>Insectes petits disperseurs</i> 400m	3127	123	$7,86 \times 10^{-6}$

La fragmentation du réseau de vergers varie entre 9 et 123 composantes en fonction du taxon considéré (tabl. 3, ci-dessus).

La connectivité est la plus grande (PC globale) pour le Hérisson d'Europe, espèce ayant la plus grande distance de dispersion parmi les taxons considérés, et est minimale pour les insectes petits disperseurs (tabl. 3). Malgré un nombre de chemins plus important pour la Chevêche, la connectivité globale est plus grande pour les chiroptères (moins de composantes créées). Une perméabilité du paysage plus faible pour la Chevêche, à cause des massifs forestiers, peut expliquer ces flux moins importants entre les vergers que pour les chiroptères.

-Composantes (zones de connectivité) -

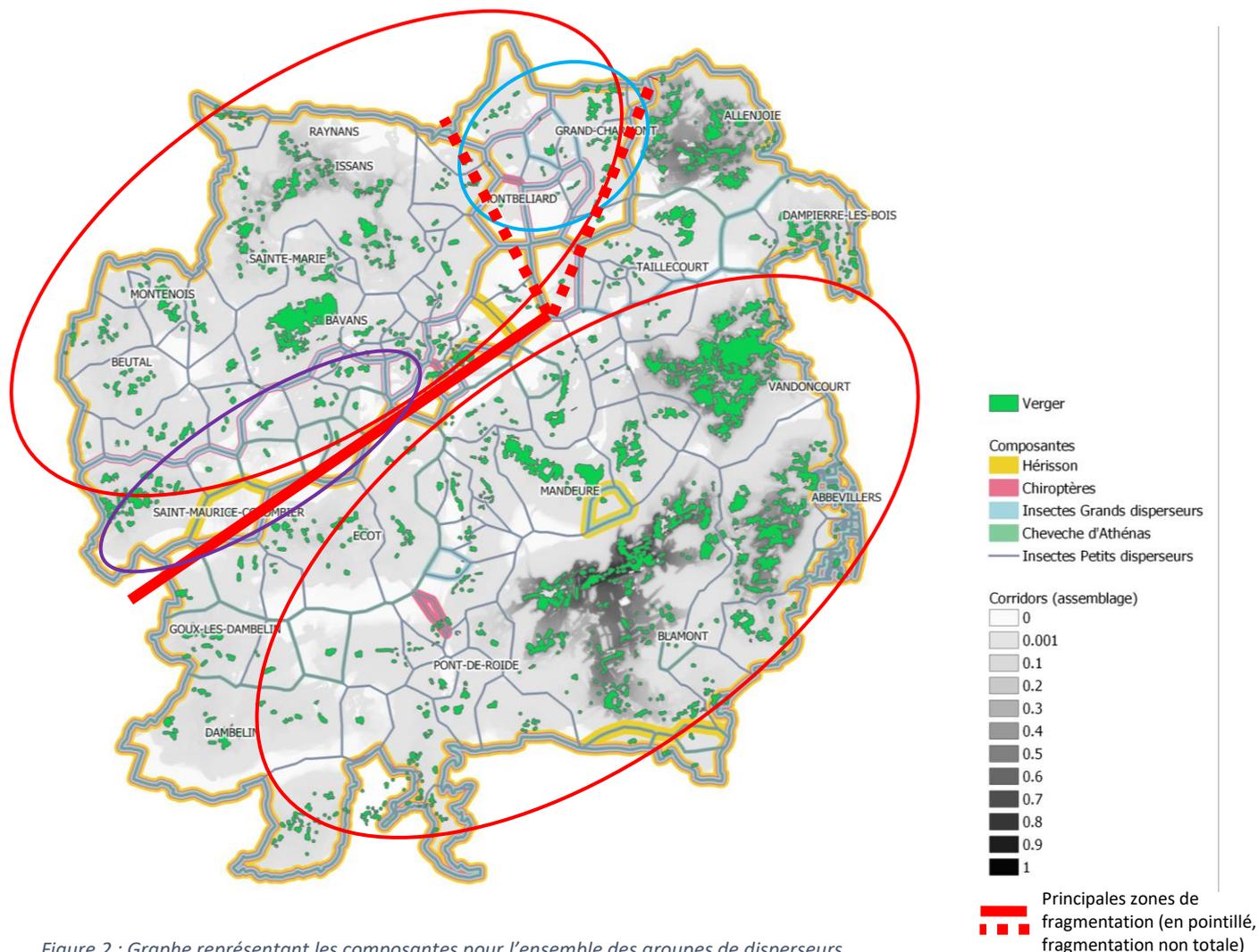


Figure 2 : Graphe représentant les composantes pour l'ensemble des groupes de disperseurs

Les composantes pour chaque groupe de disperseurs affichées dans la carte ci-dessus permettent de mettre en évidence les zones de connectivité isolées les unes des autres. En effet, les composantes sont des zones au sein desquelles les vergers sont connectés entre eux mais sont isolés des vergers situés dans les composantes voisines.

Une grande zone de fragmentation est mise en évidence dans la diagonale de Montbéliard/Grand-Charmont à Saint-Maurice-Colombier qui coupe tout d'abord globalement le territoire en 2 grandes parties Nord-Ouest / Sud-Est (entourées en rouge sur la fig. 2), aucun taxon étudié ne pouvant passer à l'exception de quelques zones. Puis, toujours en considérant tous les taxons étudiés, une 2ème composante se forme

au nord de Montbéliard (entourée en bleu). Pour certains taxons, notamment les insectes et les chiroptères, d'autres grandes fragmentations apparaissent, en particulier dans la partie Nord-Ouest du territoire, isolant des zones de vergers (entourées en violet).

Globalement, la partie Nord semble la plus fragmentée pour un plus grand nombre d'espèces. C'est pour les insectes petit disperseurs que le réseau de vergers est le plus fragmenté. Des zones avec des densités en vergers plus importantes sont néanmoins mis en évidence.

- Taches (Vergers) et Corridors -

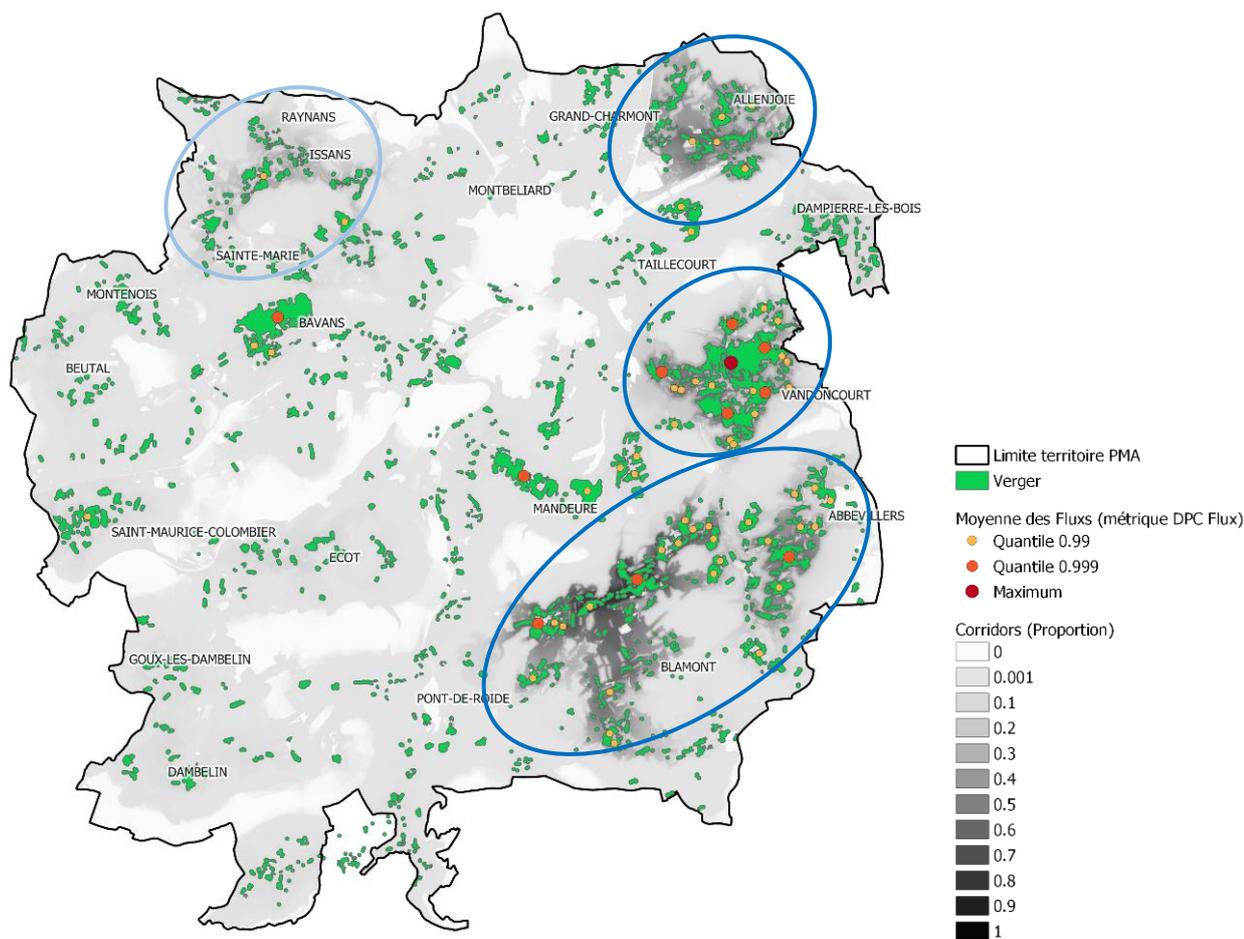


Figure 3 : Corridors et moyenne de la métrique « DPC Flux »

L'assemblage des densités des corridors (proportion moyenne par pixel du nombre de chemins sur le maximum observé par espèce) sur l'ensemble des taxons étudiés met en évidence des zones de

connectivité des vergers importantes (entourées en bleu foncé sur la fig. 3) : le secteur d'Allenjoie, le secteur de Vandoncourt et le secteur de Blamont jusqu'à Abbevillers. La zone de vergers dans le secteur des communes d'Issans jusqu'à Sainte-Marie apparaît également, dans une moindre mesure, bien connectée (entourée en bleu clair sur la fig. 3). Sur le reste du territoire, les vergers reliés par les zones grises claires reflètent la présence d'un nombre très faible de corridors permettant de les relier. Globalement, les réseaux de vergers les plus denses et les plus connectés se situent dans la partie Est du territoire, tandis que les parties Ouest et centrale du territoire apparaissent moins bien connectées.

En moyenne, sur l'ensemble des espèces, les vergers les plus importants pour la connectivité de la trame en terme de flux de disperseurs (points de jaunes à rouges foncés sur la fig. 3) se concentrent dans les 3 noyaux principaux identifiés ci-dessus, mais également dans des zones de vergers secondaires des secteurs d'Issans/Saint-Julien-les-Montbéliard, Bavans, et d'autres petits réseaux comme à Saint-Maurice-Colombier. Les vergers présentant les valeurs de flux les plus fortes (rouges et oranges foncées) se situent sur les deux réseaux de Vandoncourt et Blamont/Abbevillers et sur les taches de vergers de Mandeuire et Bavans.

L'analyse précise du nombre d'espèces pouvant emprunter les corridors mis en évidence sur la fig. 3 montre que les zones de connectivité faible (couleur gris clair sur la fig. 3, en bleu et vert sur la fig. 4 ci-dessous), ne sont en fait utilisées que par 1 ou 2 taxons. Pour interpréter ces corridors plus précisément, il s'agira de se référer aux corridors par groupe taxonomique.

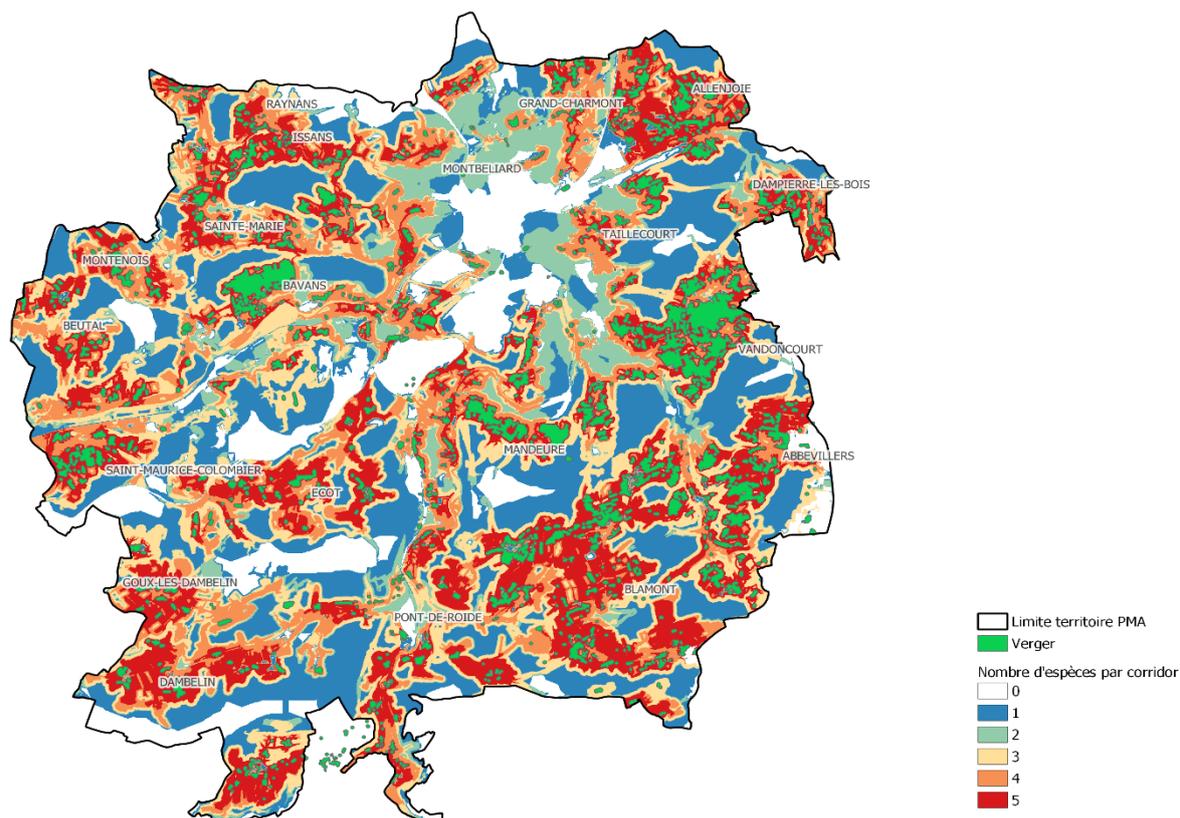


Figure 4 : Nombre d'espèces concernées par corridor.

- Vergers relais – DPC Connector -

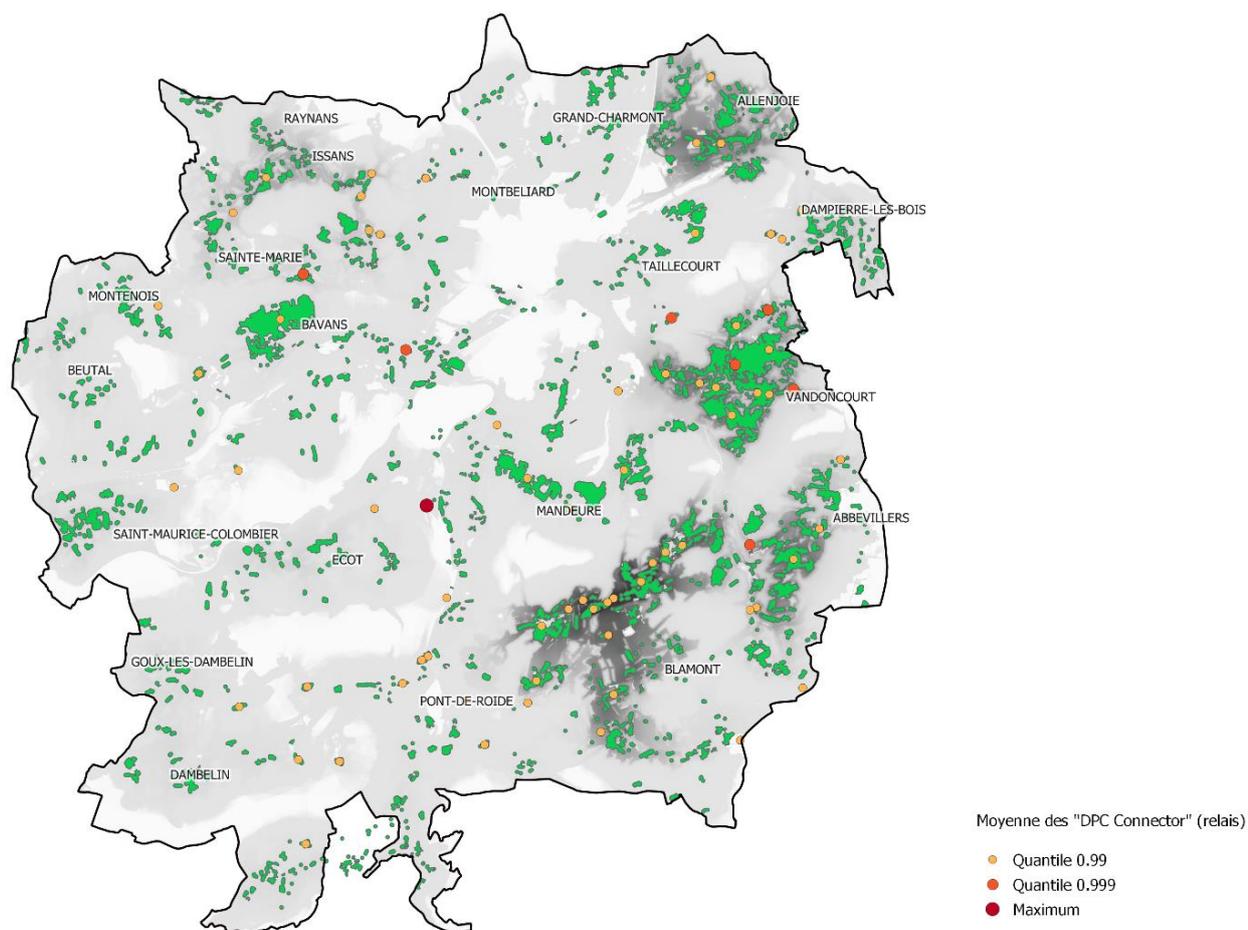


Figure 5 : Métrique « DPC Connector » : hiérarchie des vergers ayant un rôle de relais dans la trame

Les vergers ayant un rôle de relais important dans le réseau sont situés à la fois au sein des zones de vergers identifiées comme très connectées, ce qui contribue au maintien de la connexion au sein de ces zones, et à la fois dans des secteurs de moindre densité en vergers. C'est le cas par exemple du verger ayant la plus haute valeur de DPC Connector au centre du territoire (point rouge foncé, fig. 5). Ce verger permet par exemple de faire le lien entre les vergers situés à l'Ouest dans le secteur d'Ecot et les vergers à l'Est vers Mandeuire. C'est également le cas du verger situé entre Taillecourt et la zone de Vandoncourt (point orange) : il permet notamment de faire le lien entre les vergers de ces deux secteurs. S'il n'était pas présent, la connexion serait plus difficile. Les milieux de part et d'autre de ce verger jouent également un rôle dans cette connexion. Les petites taches de vergers dans les cas similaires permettent la connexion entre des taches de vergers plus importantes, ou entre les zones de vergers principales du territoire, assurant ainsi leur connexion.

Analyse spécifique de la connectivité pour la Chevêche d'Athéna

En région, la Chevêche d'Athéna est loin d'être strictement inféodée aux vergers en tant qu'habitats. Sur le secteur de PMA, les données de présence apparaissent toutefois souvent liées à ce milieu. L'étude présente a pour but d'analyser la connectivité de la trame de vergers, ce qui implique que les interprétations qui en sont issues se focalisent sur ce milieu. Les analyses restent donc à relativiser si on considère les différents types d'habitats possibles pour l'espèce, tels que le bâti.

- Composantes (zones de connectivité) -

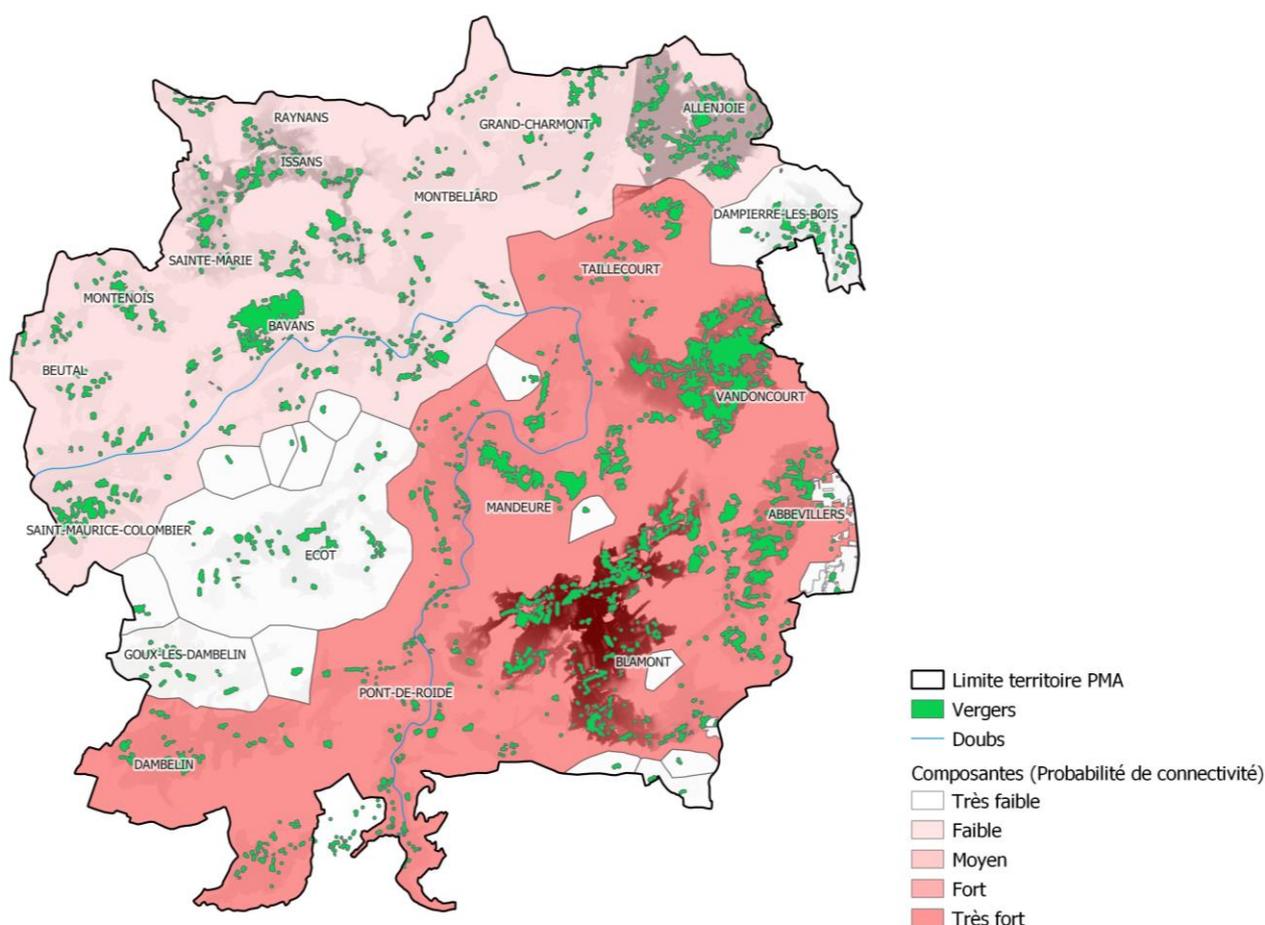


Figure 6 : Graphe présentant les composantes pour la Chevêche d'Athéna, reflétant la probabilité de connectivité

Dix-sept composantes apparaissent. Deux grandes composantes principales se distinguent, présentant un réseau de vergers plus important que les autres composantes ainsi qu'une probabilité de connectivité plus

élevée : l'une au Nord et l'autre au Sud/Sud-Est (en rouge sur la fig. 6). Cette dernière présente la probabilité de connectivité la plus forte. Les composantes les plus importantes en termes de connectivité sont celles qui contiennent les taches de vergers de plus grandes surfaces et qui sont connectées entre elles. Ainsi, la probabilité que deux individus de Chevêche se rencontrent est plus forte dans ces deux grandes zones.

Par ailleurs, on distingue 8 composantes plus petites à l'Ouest de PMA, qui présentent une faible probabilité de connectivité. Aussi, une autre composante isolée apparaît au Nord-Est de PMA, sur les communes de Dampierre-les-Bois et Badevel. Enfin, 6 petites composantes ne comportant qu'une tache de vergers apparaissent isolées au sein de la composante principale.

-Taches (vergers) et Corridors –

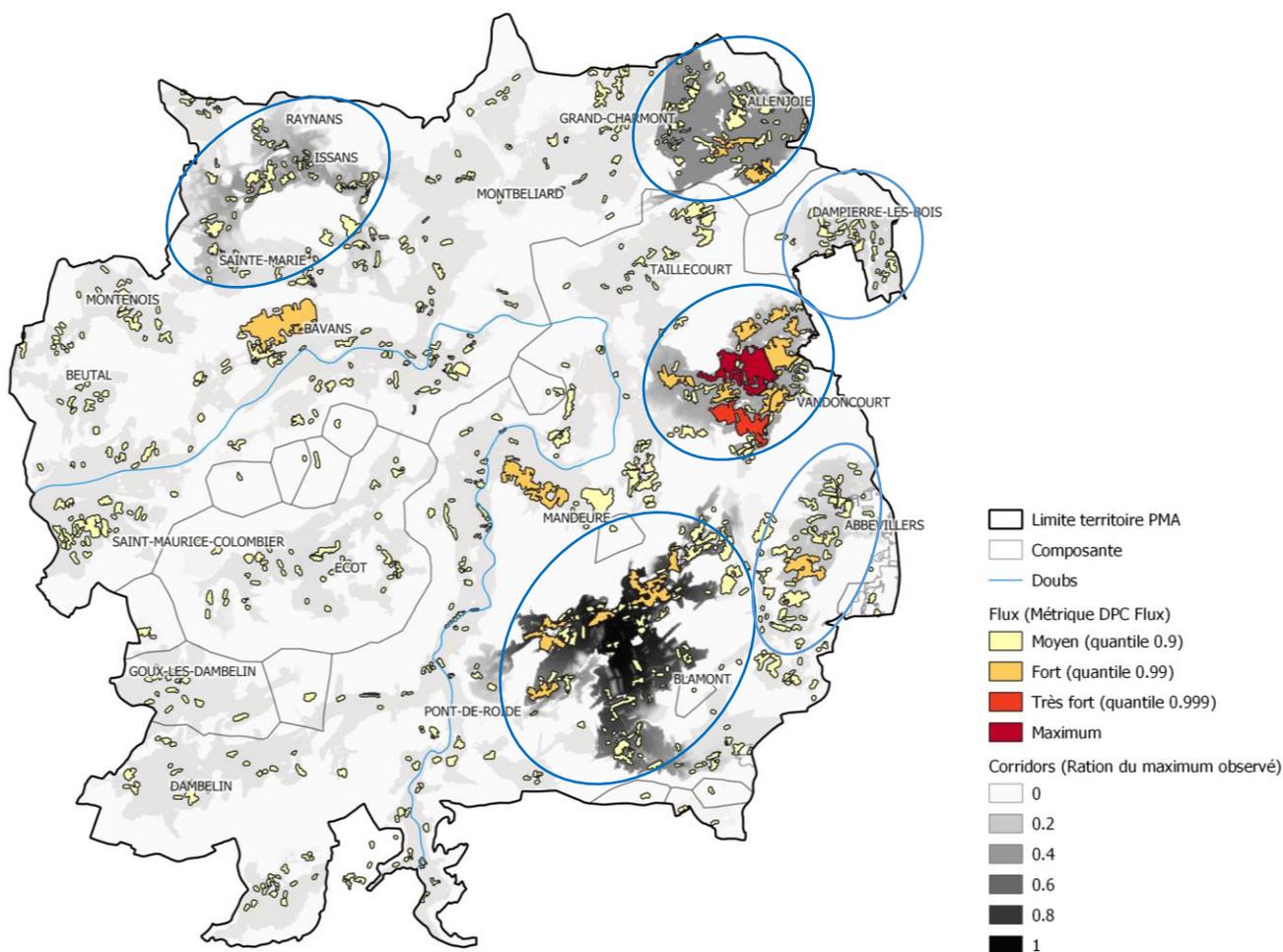


Figure 7 : Corridors et métrique « DPC Flux »

Comme pour l'ensemble des taxons étudiés, les vergers les plus importants (valeurs maximale de « DPC Flux ») pour préserver les connectivités existantes en termes de flux pour la Chevêche d'Athéna, sont situés essentiellement sur les zones de vergers de Vandoncourt, dans la zone de vergers au Nord de Blamont, au niveau de Bavans, d'Abbevillers, Mandeuve ou encore Allenjoie. Ces zones de vergers sont donc importantes pour maintenir la connectivité globale de l'habitat pour l'espèce, en tant que récepteur et émetteur d'individus en dispersion, zones dans lesquelles l'espèce peut trouver une surface supérieure à la surface minimale requise pour son domaine vital où elle peut donc potentiellement s'installer (4ha) (Etienne, 2012).

La densité relative de corridors met en évidence une connectivité beaucoup plus forte au niveau des vergers à hautes valeurs de flux pour la Chevêche. On retrouve les zones de vergers très bien connectés identifiés pour l'ensemble des taxons, c'est-à-dire le secteur autour de Blamont, le secteur de Vandoncourt, le secteur d'Allenjoie, le secteur de Sainte-Marie à Issans et également les secteurs secondaires d'Abbevillers et de Dampierre-les-bois (entourées en bleu sur la fig 7).

L'analyse comparative avec les données de présence de la Chevêche sur le territoire montre que l'espèce est connue en reproduction sur les noyaux de Vandoncourt, Allenjoie et une donnée récente indique sa présence également dans le secteur au nord de Blamont.

Les vergers dans le quart Sud-Ouest de PMA autour de la commune d'Ecot répartis en plusieurs composantes isolées possèdent des valeurs faibles de DPC-Flux, ce qui indique qu'ils ne sont pas en capacité de recevoir des disperseurs de Chevêche ni d'en émettre au sein de la trame. Ils ne présentent donc théoriquement pas un potentiel d'accueil important pour la Chevêche.

Dans toute cette zone Ouest et au sein des petites composantes, le nombre de corridors entre les vergers est très limité.

Par ailleurs, la zone sud de PMA au niveau de Pont-de-Roide possède beaucoup de relief, dont l'altitude maximum atteint presque 600 m, ce qui est la limite connue de la Chevêche en région. Cette zone ne semble alors pas très favorable à l'espèce.

-Chemins importants-

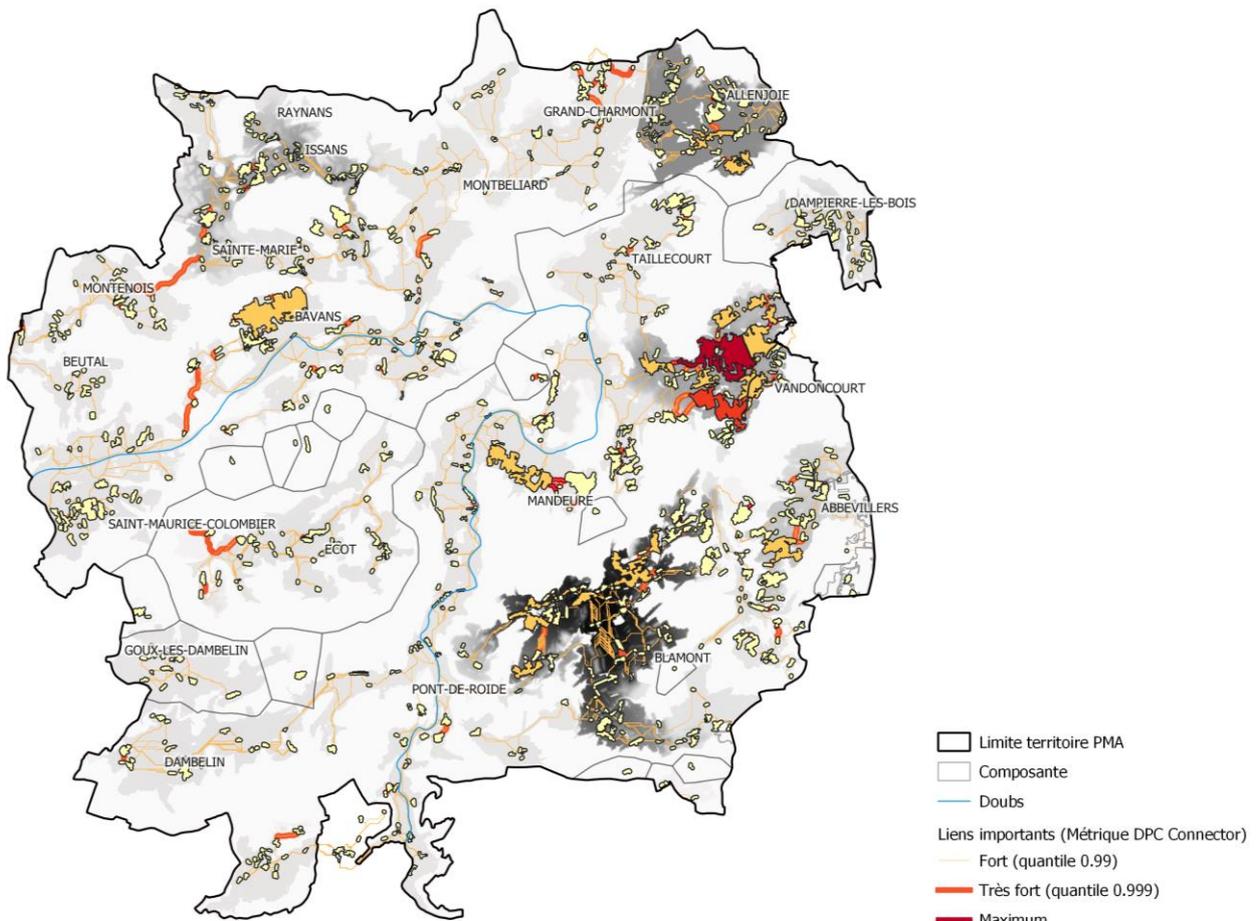


Figure 8 : Corridors et chemins importants

Sur la fig. 8, apparaissent des liens ayant des valeurs de flux les plus importantes sur le territoire entre les vergers. Ces liens indiquent une zone et une direction qui a un rôle important pour assurer la connectivité de la trame, notamment en reliant des taches de vergers importantes. Les liens formés correspondent à des linéaires de milieux jugés favorables et perméables pour l'espèce. Ces liens importants sont analysés en superposition des corridors (en nuances de gris sur la fig. 8). En effet, la disparition d'une zone dans laquelle se trouve une connexion importante où la densité de corridors est très faible, et donc peu de passages disponibles pour l'espèce, sera beaucoup plus impactante que si la densité de corridors est moyenne à forte, et donc plus facilement traversable par la Chevêche.

De fortes possibilités de déplacements existent au sein des noyaux de vergers précédemment identifiés. D'autres connexions importantes apparaissent pour relier ces noyaux au reste des vergers au sein de chaque composante, suivant les zones de corridors préalablement identifiées.

Certaines zones apparaissent primordiales pour maintenir la connectivité : au Nord de PMA entre les vergers de Sainte-Marie et ceux de Montenois, à l'Ouest de Bavans, ou encore au Nord de Grand-Charmont.

Certaines des zones de vergers identifiées comme importantes pour le réseau, telles que le secteur de Vandoncourt et le secteur Blamont, ne sont pas directement connectées entre elles ou difficilement. En effet, leur connexion qui s'effectue via le réseau de vergers le long du Doubs en passant par Mandeuire et Pont-de-Roide ne repose que sur quelques passages possibles. De plus, certaines de ces connexions passent dans une zone urbanisée avec quelques vergers et haies qui expliquent la présence de ces passages. Cependant, les capacités de la Chevêche à traverser une grande surface de zone urbanisée même diffuse sont peu connues, la dispersion à travers ces zones étant hypothétique. De même, la zone de faible connectivité au niveau de Pont-de-Roide qui permet de connecter le secteur de Blamont traverse également une zone urbaine diffuse. C'est de plus le seul lien dans cette zone permettant d'accéder au noyau de vergers. La connectivité fragile qui apparaît entre ces deux secteurs importants est donc à considérer avec précaution et il pourrait ainsi s'agir d'un secteur prioritaire d'amélioration de la connectivité.

De même, au Nord de PMA, la connexion entre le noyau de vergers dans le secteur d'Allenjoie et le secteur d'Issans à Sainte-Marie se fait par l'intermédiaire d'une zone de connectivité faible, avec peu de chemins possibles, qui passe par Grand-Charmont et le Nord de Montbéliard, où des liens de grande importance pour le maintien de la connectivité apparaissent. Ces corridors modélisés traversent du tissu urbain ainsi que l'autoroute A36, ce qui représente un milieu barrière pour l'espèce.

Aussi, les secteurs d'Allenjoie et de Vandoncourt ne sont pas connectés alors qu'il s'agit de 2 zones de présence de la Chevêche. La raison de cette fragmentation semble être la présence de zones urbaines denses, de zones commerciales ou industrielles entourées de massifs forestiers.

Enfin, le secteur de Bavans est faiblement connecté aux autres vergers de la composante Nord, car situé entre la forêt et le village de Bavans. Les quelques prairies et haies aux alentours permettent sa connexion aux autres vergers les plus proches mais ces liens sont peu nombreux et donc primordiaux à conserver.

Certains liens calculés par le logiciel présentent des limites car ils passent à travers une section de forêt coupée pour installer les lignes haute-tensions, ouverture forestière étroite à travers laquelle il est peu probable que la Chevêche ne s'aventure. La connexion déjà faible des vergers de Bavans au reste du réseau est donc possiblement surestimée.



Bilan de l'étude de la connectivité sur le territoire de PMA

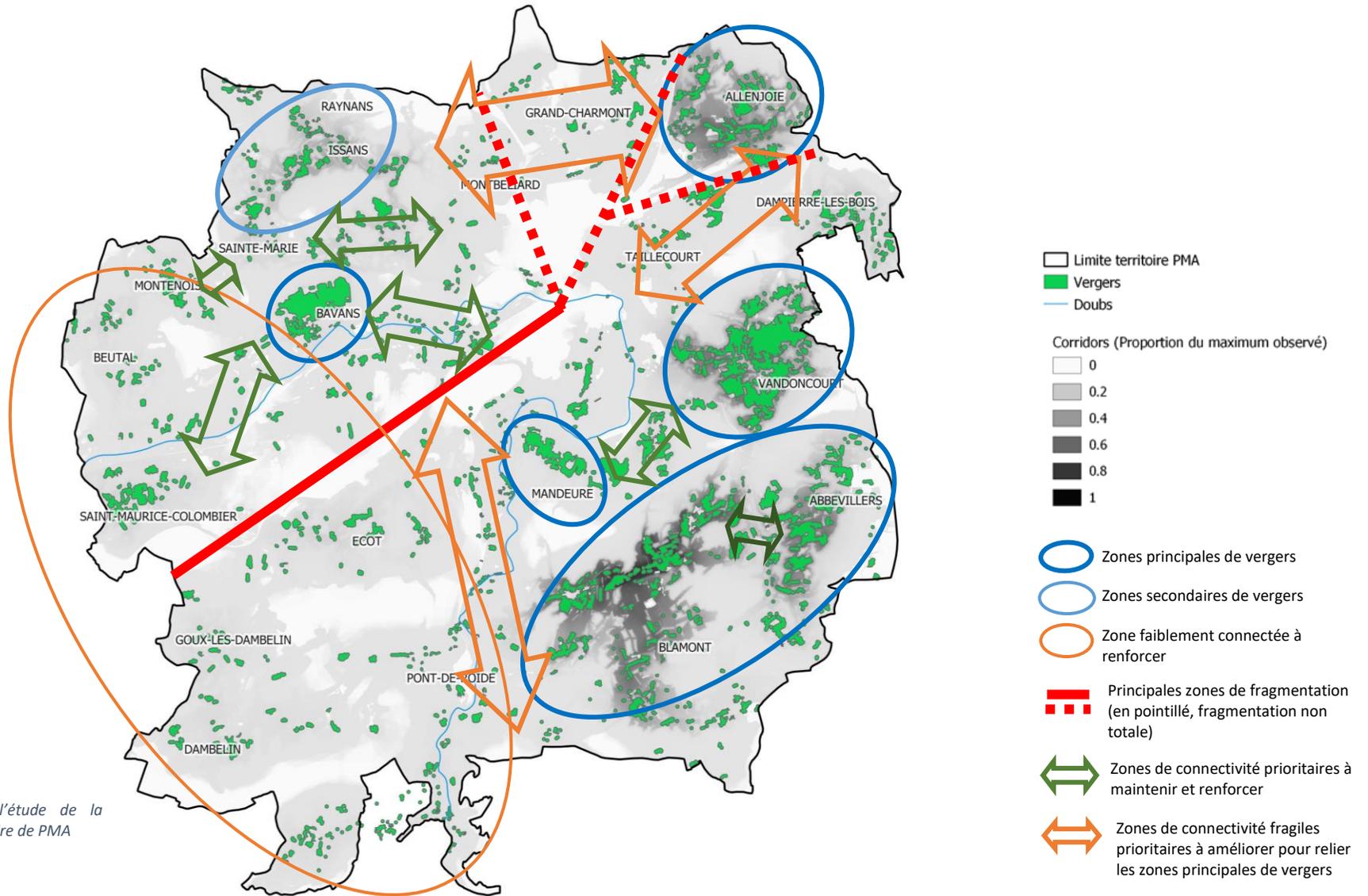


Figure 9 : Bilan de l'étude de la connectivité sur le territoire de PMA

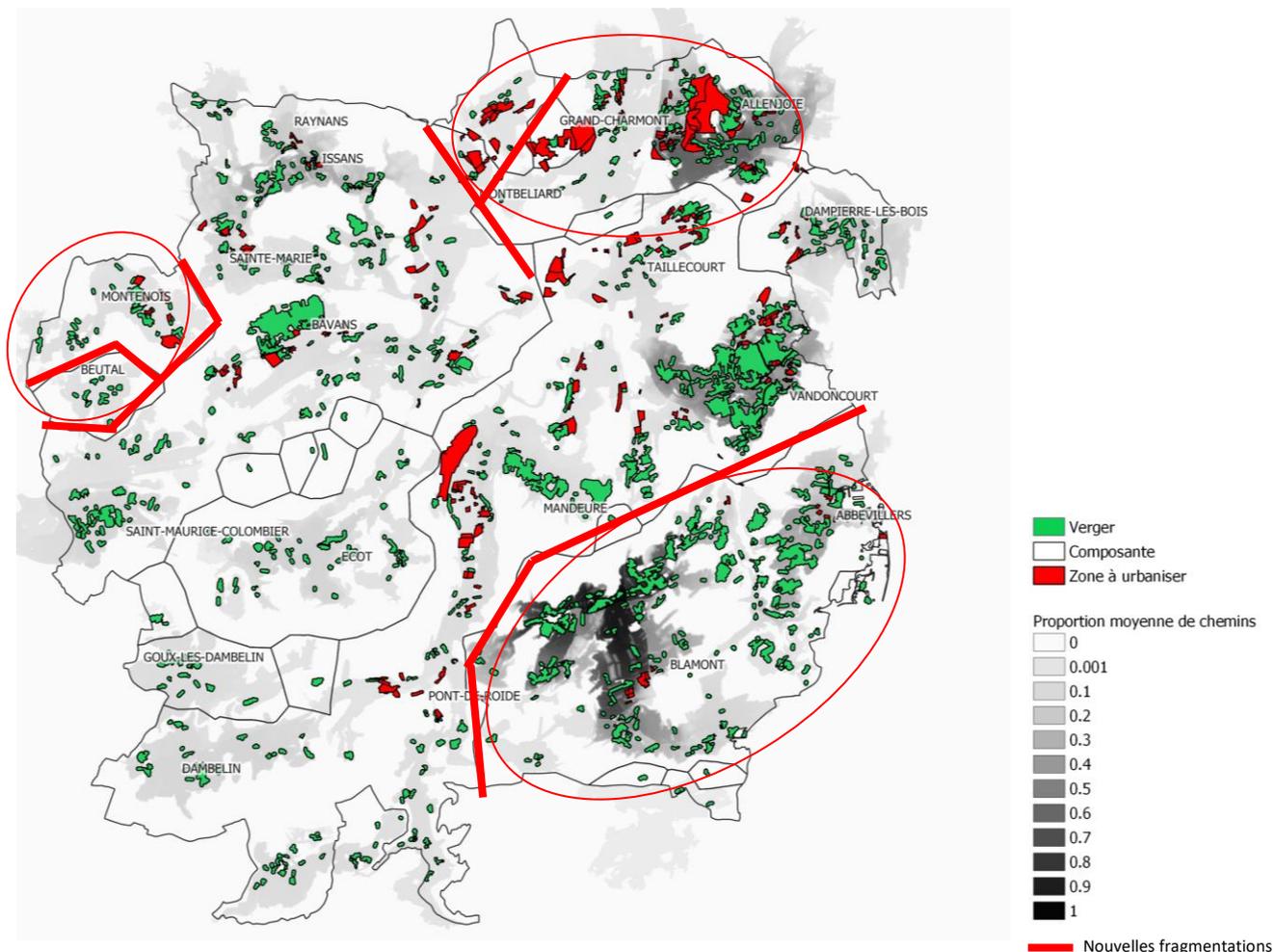


Figure 10 : Corridors et composantes pour la Chevêche avec prise en compte des zones à urbaniser

Lorsque l'on considère les zones à urbaniser comme infranchissables pour la Chevêche, soit 22 taches de vergers supprimées, la probabilité de connectivité globale sur le territoire étudié diminue de 0.22×10^{-5} ($PC=1.24 \times 10^{-5}$) par rapport à la connectivité du paysage actuel ($PC=1.02 \times 10^{-5}$). Aussi, 6 nouvelles composantes apparaissent et environ 3000 chemins de moindre coût disparaissent dans cette nouvelle configuration qui conduit à une fragmentation plus importante de l'habitat pour l'espèce (fig. 9).

Les deux composantes principales du territoire présentées précédemment se retrouvent fragmentées, et de nouvelles composantes apparaissent (les principales entourées en rouge sur la fig. 9). La composante au Nord est alors divisée en 6 composantes, isolant ainsi du réseau les zones de vergers importantes du secteur d'Allenjoie, de Sainte-Marie à Issans et les vergers des communes de Montenois et Beutal (fig. 9).

31  Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021). Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

La composante principale Sud—Sud-Est subit également une fragmentation avec la formation d'une nouvelle composante qui se traduit par l'isolement de l'une des zones de vergers les plus importantes : la zone dans le secteur de Blamont qui n'est plus du tout connectée au réseau et notamment à la zone importante du secteur de Vandoncourt. Cette déconnexion est en partie due à l'urbanisation d'un verger dont l'un des chemins importants pour la connectivité entre ces deux zones avait été identifié pour la Chevêche sur la commune de Pont-de-Roide. Par ailleurs, d'autres projets d'urbanisation au niveau de Pont-de-Roide rendent la connexion difficile avec la partie Sud Est.

Discussion

L'étude de la connectivité des vergers sur le territoire de PMA a permis de décrire le réseau de vergers existant et d'identifier les noyaux importants de vergers, les grandes zones de connectivité et les grandes zones de fragmentation. Elle a également permis de hiérarchiser l'importance des vergers et des corridors dans le maintien du réseau à l'échelle du territoire de PMA.

Trois zones de vergers principales ayant un rôle important dans la trame pour l'accueil des espèces et leur dispersion ont été mis en évidence : le secteur de Vandoncourt, le secteur aux alentours de Blamont jusqu'à Abbévillers et le secteur d'Allenjoie. Un secteur secondaire est aussi mis en évidence au Nord de PMA de Sainte-Marie à Issans. A ces vergers s'ajoutent également ceux de Bavans et de Mandeuve, qui ne se trouvent pas dans un réseau de vergers très connectés mais qui jouent un rôle dans le flux des disperseurs et donc l'accueil des populations d'espèces.

En fonction des espèces considérées, ces zones de vergers importantes ne sont pas connectées entre elles. Certaines sont isolées en raison de la zone de fragmentation la plus marquée du territoire qui est la diagonale de Montbéliard à Saint-Maurice-Colombier. Sur cette diagonale, le réseau de vergers est moins dense. Cette fragmentation peut être expliquée par une urbanisation importante, notamment du côté de Montbéliard, le passage de l'autoroute A36, la présence de massifs forestiers. Le passage du Doubs peut aussi constituer une barrière pour certaines espèces comme le Hérisson et les insectes petits disperseurs. D'autres secteurs de fragmentation apparaissent, notamment au Nord de Montbéliard où la connectivité est faible ainsi qu'entre certains réseaux de vergers dont les zones importantes identifiées. La présence de forêts, l'urbanisation et le manque de vergers pouvant servir de relais semblent en être les raisons.

Toute la partie Ouest de PMA présente un réseau moins connecté avec une densité plus faible de vergers.

L'étude spécifique de la connectivité des vergers de PMA pour la Chevêche d'Athéna a montré que globalement la partie Est est la plus intéressante avec des réseaux de vergers bien connectés et des vergers en capacité d'accueillir une population de Chevêche principalement en termes de surface. Dans la partie Nord d'autres réseaux de vergers sont également bien connectés et intéressants pour la Chevêche. En revanche, toute la partie à l'Ouest du Doubs présente peu de vergers favorables à la Chevêche par leur petite taille et par leur faible connectivité. Globalement, la connectivité entre les réseaux intéressants pour l'espèce est limitée en raison du caractère forestier du territoire qui est un milieu défavorable pour la

Chevêche, source de fragmentation de son habitat semi-ouvert. L'urbanisation présente entre les principales zones de vergers et prairies est également un facteur ayant un rôle dans la diminution de la connectivité, lorsqu'elle est dense. La Chevêche d'Athéna peut profiter des cavités du bâti, à proximité de sites de chasse favorables et donc être présente dans les villages. Les corridors et lieux de passage importants modélisés par le logiciel passant dans de grands secteurs de zone urbaine diffuse sont restreints, mais il est possible que la connectivité ainsi indiquée dans ces zones ne soit pas aussi importante qu'elle n'apparaît. Par exemple, la zone de connectivité modélisée au Nord de Montbéliard qui passe par Grand-Charmont pour relier le noyau de vergers d'Allenjoie à celui d'Issans/Sainte-Marie. Dans ces espaces, l'urbanisation a progressé et a peut-être déjà fragmenté les milieux à un niveau trop important, les rendant fragiles. La présence de dents creuses avec vergers et prairies apparaît alors très importante dans le réseau d'habitats, jouant le rôle des derniers patchs de milieux permettant la connexion entre certains éléments de la trame des vergers. Ces liens sont néanmoins fragiles car peu nombreux et menacés par l'urbanisation croissante.

Les différents noyaux de vergers et chemins les plus importants modélisés et présentés dans les résultats ne sont pas les seuls espaces à préserver ou à renforcer. Il a été choisi de hiérarchiser l'importance des vergers et des chemins en fonction de leur rôle dans la trame et la connectivité afin de prioriser les actions de conservation et de restauration, mais il ne faut pas les considérer comme les seuls éléments de la trame à considérer et protéger.

Il est important de préciser que la présente étude se base sur des surfaces de vergers dont on ne connaît pas la structure et donc la qualité écologique pour l'accueil de la biodiversité. Ainsi, il faut garder à l'esprit que toutes les zones de vergers étudiées ne sont pas favorables à l'installation de la Chevêche, comme celles dont la surface est inférieure à 4 hectares, mais aussi toutes les taches de vergers qui sont très proches des forêts, celles situées entre le tissu urbain et la forêt, et celles en tissu urbain trop dense pour l'espèce, par exemple.

L'analyse de l'impact des potentielles futures zones à urbaniser sur le réseau de vergers pour la Chevêche a montré que de nouvelles zones de fragmentation seront créées engendrant l'isolement des vergers et en particulier de certaines zones de vergers importantes sur le territoire dont Allenjoie et le secteur de Blamont. Cet isolement de zones les plus importantes de la trame pour la Chevêche peut avoir de graves conséquences sur le maintien des populations d'espèces sur le territoire en réduisant les superficies de territoires potentiels à proximité du site de naissance, la dispersion des jeunes se faisant majoritairement à

quelques kilomètres du site de naissance, et en rendant plus difficile les déplacements des jeunes en dispersion (zones défavorables, risques de mortalité accrus liés aux collisions routière, etc..) et donc les échanges génétiques. La colonisation de nouveaux secteurs pourrait également être rendue encore plus difficile qu'elle ne l'est actuellement. Ces zones de vergers ayant été mises en évidence comme importantes dans la trame pour tous les groupes d'espèces étudiés, l'impact serait alors global sur la biodiversité. Le maintien de la connectivité existante et sa prise en compte dans les futurs projets d'aménagement apparaît alors primordiale pour la conservation de tout le cortège d'espèces utilisant les vergers comme habitat.

Gestion / Amélioration de la connectivité

Pour améliorer la connectivité du territoire, il est tout d'abord crucial de conserver les surfaces de vergers existantes ainsi que les connexions. Il s'agit de maintenir en priorité les grands ensembles de vergers les plus importants formant des réseaux principaux de vergers connectés, en veillant à conserver leur intégralité d'un seul tenant, mais aussi les vergers servant de relais entre ces zones principales. La notion de taille d'habitats est primordiale pour l'accueil des espèces, d'où l'importance de conserver les zones de vergers les plus grandes. La présente étude se focalise sur la connectivité de la trame, mais il est important de rappeler que la taille des habitats influe en premier lieu sur leur capacité d'accueil. Si des petits patchs d'habitats sont bien connectés mais non suffisamment grands pour accueillir les espèces, cela ne permet pas de maintenir une population d'espèces. Ainsi, les deux aspects de taille d'habitat et de connectivité sont complémentaires et importants à assurer. Il en est de même pour la qualité du milieu.

L'évitement de la destruction des grandes zones de vergers par l'urbanisation est un levier prioritaire. Pour cela, leur prise en compte dans les documents d'urbanisme doit être améliorée en les protégeant de manière plus forte, et en considérant leur rôle dans la trame des vergers (LPO BFC, Vergers Vivants, 2021 (à venir)). De même, la séquence Eviter-Réduire-Compenser lorsqu'un verger est menacé par un projet d'aménagement doit être mieux appliquée pour ce milieu. La doctrine sur la séquence ERC proposée pour les vergers dans le cadre du projet Interreg « Pérenniser les vergers haute-tige » pourra être suivie (LPO BFC, Vergers Vivants, 2021).

L'abandon des vergers est également une problématique sur le territoire de PMA. Il entraîne une fermeture du milieu, qui perd ainsi les caractéristiques de milieux semi-ouvert (Obrist et al., 2011). Il est donc

important de sensibiliser sur l'intérêt écologique des vergers et de leur valeur économique, patrimoniale et sociale pour favoriser leur entretien et diminuer ce phénomène d'abandon.

Un point important pour améliorer la connectivité des vergers sur le territoire est également de travailler sur les grandes fragmentations du réseau identifiées et de trouver des solutions possibles pour reconnecter le réseau de vergers dans ces secteurs (création de corridors par plantation ou restauration de vergers ou de milieux associés, créations d'aménagements tels que des passages à faune au niveau des infrastructures routières importantes, etc.)

Il est ensuite important de renforcer les zones faiblement pourvues en vergers entre des zones de vergers importantes où la connectivité peut être faible, ainsi que dans la zone Ouest présentant de petits réseaux difficilement connectés n'ayant pas une capacité d'accueil des espèces très élevée.

La nature, l'agencement et la qualité des milieux associés aux vergers tels que les prairies bocagères, le réseau de haies, le bâti accueillant pour la faune, la diversité et densité des micro-habitats, contribuent à la connexion des vergers mais également à leur rôle fonctionnel et leur intérêt écologique. Ces milieux sont ainsi à maintenir et à renforcer pour assurer la fonctionnalité des vergers et leur connectivité.

Limites et perspectives

La présente analyse repose sur une cartographie « simplifiée » de l'occupation du sol et sur une modélisation de données biologiques/écologiques des espèces.

Une analyse plus approfondie, intégrant à ce modèle la qualité écologique de chaque tache de vergers, données à recueillir sur le terrain, ainsi que les exigences des espèces en termes de surface minimale de domaine vital, permettrait de préciser les réseaux de vergers susceptibles de constituer de réels réservoirs de biodiversité et de préciser la fonctionnalité du réseau. Les données de qualité écologique des vergers peuvent être récoltées lors des inventaires des arbres fruitiers en suivant la méthodologie développée dans le cadre du programme Interreg (Dupuis O., 2021).

Ce modèle peut également être confronté et affiné avec les données de présence d'une guildes d'espèces des milieux semi-ouverts. Ce dernier point est néanmoins conditionné par l'amélioration des connaissances basée sur des prospections ciblées, au moins pour certains groupes d'espèces.

Les zones de connexions mises en évidence dans cette étude pourraient être validées par des études relevant d'une approche terrain. En particulier, une étude plus poussée de la connectivité pour chaque disperseur étudié en milieu urbain, barrière importante sur une partie du territoire de PMA ; serait intéressante à mener. Les zones rupestres bâti seront notamment intéressantes à prendre en compte pour affiner l'analyse notamment si sont utilisées pour l'étude les espèces liées à la fois à ce milieu et aux vergers, comme les Chiroptères et la Chevêche d'Athéna.

L'étude de la connectivité de cette trame élargie aux territoires connexes, et notamment suisses, serait intéressante à conduire. La répartition continue de la Chevêche d'Athéna et les suivis effectués par baguage mettent en évidence des échanges sur ces territoires proches. Une étude spécifique portant sur ses habitats potentiels pourrait être conduite à plus large échelle, c'est-à-dire en élargissant le type de milieu et en prenant en compte le lien avec le bâti.

Une analyse de l'évolution du réseau de vergers pourrait également servir de base pour orienter les actions de restauration.

Références

Arthur L, Lemaire M. Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Mèze: Biotope éditions; 2009. 544 p. (Collection Parthénope).

Agence de Développement et d'Urbanisme du Pays de Montbéliard (2019). Projet d'Aménagement et de Développement Durables. SCoT Nord Doubs arrêté le 22 novembre 2019. Pays Montbéliard Agglomération. 35 p.

Agence de Développement et d'Urbanisme du Pays de Montbéliard (2019). Rapport de Présentation, Partie 1 : Diagnostic de territoire. SCoT Nord Doubs arrêté le 22 novembre 2019. Pays Montbéliard Agglomération. 165 p.

Agence d'Urbanisme et de Développement Durable Lorraine Nord, 2018. Guide méthodologique Trame Verte et Bleue locale Lorraine Nord. 52p

AUDAB. 2016. La trame verte et bleue du SCoT de l'agglomération bisontine. Diagnostic et cartographie des continuités écologiques du territoire. Rapport d'étude.

Baguette M, Van Dyck H. Landscape connectivity and animal behavior: functional grain as a key determinant for dispersal. *Landsc Ecol.* oct 2007; 22(8):1117-29.

Bailey D., Schmidt-Entling M-H., Eberhart P, Herrmann J-D., Hofer G., Kormann U., et al. Effects of habitat amount and isolation on biodiversity in fragmented traditional orchards: Orchard fragmentation effects on biodiversity. *J Appl Ecol.* oct 2010;47(5):1003-13.

BANNWARTH C. & MAAS S. (2012). Plan régional de conservation d'espèce en faveur de la Chevêche d'Athéna *Athene noctua*. LPO Franche-Comté, DREAL Franche-Comté & Union européenne : 23p.

BANNWARTH C. et MAAS S. (2021). Programme Régional de Conservation des Espèces en faveur de la Chevêche d'Athéna (*Athene noctua*), vergers et espaces périurbains - Année 2020. LPO Franche-Comté, Région Bourgogne Franche-Comté, Conseil Départemental du Jura, Communauté d'Agglomération du Grand Dole : 20p + annexe.

Benítez-López A, Alkemade R, Verweij PA. The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis. *Biol Conserv.* juin 2010;143(6):1307-16.

Bergman K-O. Population dynamics and the importance of habitat management for conservation of the butterfly *Lopinga achine*. *J Appl Ecol.* déc 2001;38(6):1303-13.

Berthoud et al., 2002. Importance des déplacements de quelques groupes d'espèces.

Billon L, Sordello R. Schémas régionaux de cohérence écologique : Chiffres de synthèse à l'échelle nationale. Service du Patrimoine Naturel; 2017 p. 20. Report No.: 8.

Bivand R, Keitt T, Rowlingson B. rgdal: Bindings for the « Geospatial » Data Abstraction Library [Internet]. 2019. Disponible sur: <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>

38  **Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021).** Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

Bivand R, Lewin-Koh N. maptools: Tools for Handling Spatial Objects [Internet]. 2019. Disponible sur: <https://CRAN.R-project.org/package=maptools>

Bivand R, Rundel C. rgeos: Interface to Geometry Engine - Open Source ('GEOS') [Internet]. 2019. Disponible sur: <https://CRAN.R-project.org/package=rgeos>

Citadia, 2013. SCoT de l'Agglomération Berruyère, Rapport de présentation, Tome 2. Dossier d'Approbation. Pp 101-122. Syndicat Intercommunal pour la Révision et le suivi du schéma Directeur de l'Agglomération Berruyère

Clauzel C., Bannwarth C, & Foltete J-C (2015). Integrating regional-scale connectivity in habitat restoration: An application for amphibian conservation in eastern France. *Journal for Nature Conservation* 23 (2015) 98–107

Clauzel C, Bonnevalle C. Apports de la modélisation spatiale pour la gestion de la trame verte et bleue. *Cybergeogeo* [Internet]. 4 juin 2019 [cité 5 mars 2020]; Disponible sur: <http://journals.openedition.org/cybergeogeo/32333>

Clauzel C, Foltête J-C, Girardet X, Vuidel G. *Graphab 2.4 Manuel d'utilisation*. déc 2018;43.

Clauzel, C., Girardet, X., & Foltête, J. C. (2013). Impact assessment of a high-speed railway line on species distribution: Application to the European tree frog (*Hyla arborea*) in Franche-Comté. *Journal of Environmental Management*, 127, 125–134.

Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères de Franche-Comté (CPEPESC FC), 2015. Le grand Rhinolophe. Les Chauves-souris franc-comtoises – Différentes espèces de Franche-Comté – Famille des Rhinolophidae [Internet]. [Consultée le 22/06/2021] Disponible sur : <https://cpepesc.org/10-les-chauves-souris-franc-comtoises/2-les-differentes-especes-de-franche-comte/famille-des-rhinolophidae/grand-rhinolophe/>

Commission de Protection des Eaux, du Patrimoine, de l'Environnement, du Sous-sol et des Chiroptères de Franche-Comté (CPEPESC FC), 2015. Le Petit rhinolophe. Les Chauves-souris franc-comtoises – Différentes espèces de Franche-Comté – Famille des Rhinolophidae [Internet]. [Consultée le 22/06/2021] Disponible sur : <https://cpepesc.org/10-les-chauves-souris-franc-comtoises/2-les-differentes-especes-de-franche-comte/famille-des-rhinolophidae/petit-rhinolophe/>

Coulon F., Pointereau P., Isabelle. *Le pré-verger : pour une agriculture durable*. SOLAGRO. Toulouse; 2005. 186 p.

Dajoz R. *Précis d'écologie*. 8ème. Paris: Dunod; 2006. 630 p. (Sciences sup : cours et questions de réflexion).

Doncaster CP, Rondinini C, Johnson PCD. Field test for environmental correlates of dispersal in hedgehogs *Erinaceus europaeus*. *J Anim Ecol*. 2001;(70):14.

Dondina, O., Saura Martinez De Toda, S., Luciano, B. and Mateo-Sanchez, M., Enhancing connectivity in agroecosystems: focus on the best existing corridors or on new pathways, *LANDSCAPE ECOLOGY*, ISSN 0921-2973, 33 (10), 2018, p. 1741 -1756, JRC108645.

39  **Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021).** Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

Driezen K, Adriaensen F, Rondinini C, Doncaster CP, Matthysen E. Evaluating least-cost model predictions with empirical dispersal data: A case-study using radiotracking data of hedgehogs (*Erinaceus europaeus*). *Ecol Model.* déc 2007;209(2-4):314-22.

Dupuis O., 2021. Étude des enjeux écologiques des vergers haute-tige dans la trame verte sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 46p.

Enviroscop, 2015. Schéma Régional de Cohérence Ecologique de Picardie. Tome 2 : Méthodologie retenue pour l'identification des composantes de la Trame verte et Bleue du SRCE de Picardie 30 p

EPAGE Haut-Doubs Haute-Loue, (2020). Identification des continuités écologiques et des enjeux relatifs au patrimoine naturel du territoire de la communauté de communes Loue-Lison – Note méthodologique – 38 p.

Etienne P. La Chouette chevêche. Biologie, répartition et relation avec l'Homme en Europe. Mèze: Biotope éditions; 2012. 280 p. (Collection Parthénope).

Foltête J-C, Clauzel C, Girardet X, Tournant P, Vuidel G. La modélisation des réseaux écologiques par les graphes paysagers. *Méthodes et outils. Rev Int Géomat.* 30 déc 2012; 22(4):641-58.

Foltête J-C, Clauzel C, Vuidel G. A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environ Model Softw.* déc 2012; 38:316-27.

Foltête J. C., Girardet X., & Clauzel C. (2014). A methodological framework for the use of landscape graphs in land-use planning. *Landscape and Urban Planning*, 24,140–150.

Gallandat J-D, Gillet F, Havlicek E, Perrenoud A. Typologie et systématique phyto-écologiques des pâturages boisés du Jura suisse. Université de Neuchâtel; 1995.

Girardet, X., Foltête, J. C., & Clauzel, C. (2013). Designing a graph-based approach to landscape ecological assessment of linear infrastructures. *Environmental Impact Assessment Review*, 42, 10–17.

Girardet X. Paysage et infrastructures de transport : modélisation des impacts des infrastructures sur les réseaux écologiques. Géographie. Université de Franche-Comté, 2013. Français. NNT : 2013BESA1032

Guessier, 2019. Méthodologie de désignation des zones de vergers. Programme Interreg Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. Vergers Vivants.

Haight AJ. The Ecology of the European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) in rural Ireland. [Internet]. University College Cork; 2011. Disponible sur: <http://hdl.handle.net/10468/558>

Hanski I. Metapopulation dynamics. *Nature.* 1 nov 1998; 396(6706):41-9.

Häseli A., Weibel F. La culture biologique des vergers haute tige. FiBL. févr 2000;20.

Hijmans RJ. raster: Geographic Data Analysis and Modeling [Internet]. 2020. Disponible sur: <https://CRAN.R-project.org/package=raster>

40  **Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021).** Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

Huijser MP, Bergers PJM. The effect of roads and traffic on hedgehog (*Erinaceus europaeus*) populations. *Biol Conserv.* 2000;6.

Jacquot P. Les papillons menacés de Franche-Comté : *Lopinga achine* [Internet]. Conservatoire botanique national de Franche-Comté; 2012 [cité 19 sept 2020]. Disponible sur: http://cbnfc-ori.org/sites/cbnfc-ori.org/files/Fiche_Lopinga_achine.pdf

Jantzen MK, Fenton MB. The depth of edge influence among insectivorous bats at forest–field interfaces. *Can J Zool.* mai 2013;91(5):287-92.

Konvicka M, Novak J, Benes J, Fric Z, Bradley J, Keil P, et al. The last population of the Woodland Brown butterfly (*Lopinga achine*) in the Czech Republic: habitat use, demography and site management. *J Insect Conserv.* oct 2008;12(5):549-60.

Kreyer D, Oed A, Walther-Hellwig K, Frankl R. Are forests potential landscape barriers for foraging bumblebees? Landscape scale experiments with *Bombus terrestris* agg. and *Bombus pascuorum* (Hymenoptera, Apidae). *Biol Conserv.* mars 2004;116(1):111-8.

Houard X, Jaulin S, Dupont P, Merlet F. Définition des listes d'insectes pour la cohérence nationale de la TVB Odonates, Orthoptères et Rhopalocères. *Opie*; 2012 p. 29p + 71p d'annexes.

LACOSTE A. (CPEPESC Franche-Comté) - Expertise sur les chiroptères – Etude des peuplements de chiroptères en période estivale par détection ultrasonore dans les vergers autour de Montbéliard – Doubs (25) – Année 2019 - Rapport d'expertise pour l'association Vergers Vivants (54 pages + 10 annexes).

Laurent Bergès, C. Avon, Rémi Dufлот, P. Roche, Ilse Geijzendorffer, et al.. Rapport final projet ALTERBIO - Aménagement à long terme du territoire et biodiversité en PACA. [Rapport de recherche] irstea. 2016, pp.83.hal-02605451

Lepais O, Darvill B, O'Connor S, Osborne JL, Sanderson RA, Cussans J, et al. Estimation of bumblebee queen dispersal distances using sibship reconstruction method: ESTIMATION OF BUMBLEBEE QUEEN DISPERSAL. *Mol Ecol.* févr 2010;19(4):819-31.

Li L, He X, Li X, Wen Q, He HS. Depth of edge influence of the agricultural-forest landscape boundary, Southwestern China. *Ecol Res.* 13 août 2007;22(5):774-83.

Locquet A, Clauzel C. Identification et caractérisation de la trame verte et bleue du PNR des Ardennes : comparaison des approches par habitat et par perméabilité des milieux. *Cybergeog.* 7 déc 2018;

LPO Alsace, 2019. La Chevêche d'Athéna en Alsace du Sud. Rapport annuel 2019 à partir des données de baguage et contrôle.

LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants, 2021. Intégrer la préservation des vergers haute-tige dans les projets d'aménagement : appliquer la doctrine Eviter-Réduire-Compenser sur la sous-trame des vergers haute-tige et prairies associées. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses.

LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants, 2021. Synthèse des outils mobilisables et mobilisés pour la protection des vergers dans les documents d'urbanisme en France et en Suisse. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. (*à venir*)

41  **Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021).** Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

LPO Franche Comté. Les oiseaux de Franche-Comté : répartition, tendances et conservation. Mèze: Biotope éditions; 2018. 480 p.

LPO Franche-Comté – CEN FC Vaniscotte, A. – Juin 2020. Analyse de la connectivité des pelouses sèches et milieux associés dans le secteur Loue-Lison.

Lugon, Gonseth, 2002. Distribution moyenne et médiane des capacités maximales de dispersion d'un échantillon de 26 espèces d'invertébrés et de vertébrés

Mebis T, Scherzinger W. Rapaces nocturnes de France et d'Europe. Paris: Delachaux et Niestlé; 398 p. (Les encyclopédies du naturaliste).

Michel B, Gilles F, Elisabeth P. Protection et restauration des habitats de chasse du Petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*), Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères. 2000;24.

Niort Agglo, 2020. Le Schéma de Cohérence Territoriale, annexe méthodologique Trame Verte et Bleue. Document approuvé par le Conseil Communautaire le 10 février 2020. 122 p.

Obrist MK, Rathey E, Bontadina F, Martinoli A, Conedera M, Christe P, et al. Response of bat species to silvo-pastoral abandonment. *For Ecol Manag.* févr 2011;261(3):789-98.

Pinto N, Keitt TH. Beyond the least-cost path: evaluating corridor redundancy using a graph-theoretic approach. *Landsc Ecol.* févr 2009;24(2):253-66.

PNR du Haut-Jura, 2017. Scot du Haut-Jura, diagnostic territorial, Annexe méthodologique 2 : méthodologie appliquée à la construction de la trame verte et bleue. Document approuvé par le Conseil syndical du 24 juin 2017. 524 p

R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing [Internet]. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2019. Disponible sur: <https://www.R-project.org/>

Région Bourgogne-Franche-Comté, 2015. Schéma régional de Cohérence écologique, Tome 1 : Diagnostic des enjeux régionaux, interrégionaux et transfrontalier

Rodriguez Recio M, Mathieu R, Latham MC, Latham ADM, Seddon PJ. Quantifying fine-scale resource selection by introduced European hedgehogs (*Erinaceus europaeus*) in ecologically sensitive areas. *Biol Invasions.* août 2013;15(8):1807-18.

Ryelandt J, Billant O. Rapport provisoire de l'étude de l'entomofaune et des habitats. CBN Franche-Comté; 2019 avr p. 37.

Rytwinski T, Fahrig L. Do species life history traits explain population responses to roads? A meta-analysis. *Biol Conserv.* mars 2012;147(1):87-98.

SORDELLO R., BILLON L., AMSALLEM J. & VANPEENE S. (2017). Bilan technique et scientifique sur l'élaboration des Schémas régionaux de cohérence écologique. Méthodes d'identification des composantes de la TVB. Centre de ressources TVB. 104 pages.

42  **Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021).** Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

Sordello R, Comolet-Tirman J, De Massary J-C, Dupont P, Haffner, P, Rogeon G, et al. Trame verte et bleue – Critères nationaux de cohérence – Contribution à la définition du critère sur les espèces. MNHN - SPN; 2011 p. 57.

Sordello R, Conruyt-Rogeon G, Touroult J. Synthèses bibliographiques sur les traits de vie de 39 espèces proposées pour la cohérence nationale de la Trame verte et bleue relatifs à leurs déplacements et besoins de continuité écologique. Muséum national d'Histoire naturelle; 2013 déc p. 448.

Sordello R, 2016. Trame verte et bleue, Bilan technique sur la première génération des Schémas régionaux de cohérence écologique : Traitement de la cohérence interrégionale et transfrontalière par les régions . Muséum National d'Histoire Naturelle. Rapport SPN 2016 – 82. 65 p

Syndicat Mixte du SCoTAM, 2014. Schéma de Cohérence Territoriale de l'Agglomération Messine. Rapport de présentation, tome 1 : Analyse de l'état initial de l'environnement et des perspectives de son évolution. Les continuités écologiques du SCoTAM, pp 170-173. Document approuvé par le Comité syndical du SCoTAM le 20 novembre 2014.

Topos, Agence d'Urbanisme, Territoires de l'Orléanais, 2020. Outils Trame verte et Bleue. [En ligne] www.topos-urba.org/outil-trames-vertes-et-bleues-tvb/ [Page consultée le 20/07/2021].

Tournant P. Impact du paysage sur la distribution spatiale et génétique des colonies de petits rhinolophes. Université de Franche-Comté; 2013.

Urban D, Keitt T. LANDSCAPE CONNECTIVITY: A GRAPH-THEORETIC PERSPECTIVE. 2001; 82(5):14.

Vanpeene-Bruhier S, Amsallem J. Schémas régionaux de cohérence écologique : les questionnements, les méthodes d'identification utilisées, les lacunes. Sci Eaux Territ. 2014; Numéro 14(2):2.

Vanpeene-Bruhier S, Bourdil C, Amsallem J. Efficacité des corridors : qu'en savons-nous vraiment ? Sci Eaux Territ. 2014; Numéro 14(2):8.

VANPEENE S., SORDELLO R., AMSALLEM J. & BILLON L. (2017). Bilan technique et scientifique des Schémas régionaux de cohérence écologique. Méthodologies d'identification des obstacles et d'attribution des objectifs. Centre de ressources TVB. 88 pages.

VILLEMÉY, Anne ; ARCHAU, Frédéric, Quel est le rôle de la connectivité des habitats sur les papillons en contexte agricole ?, *Revue Science Eaux & Territoires*, Trame verte et bleue : la continuité écologique en marche dans les territoires, numéro 25, 2018, p. 72-77

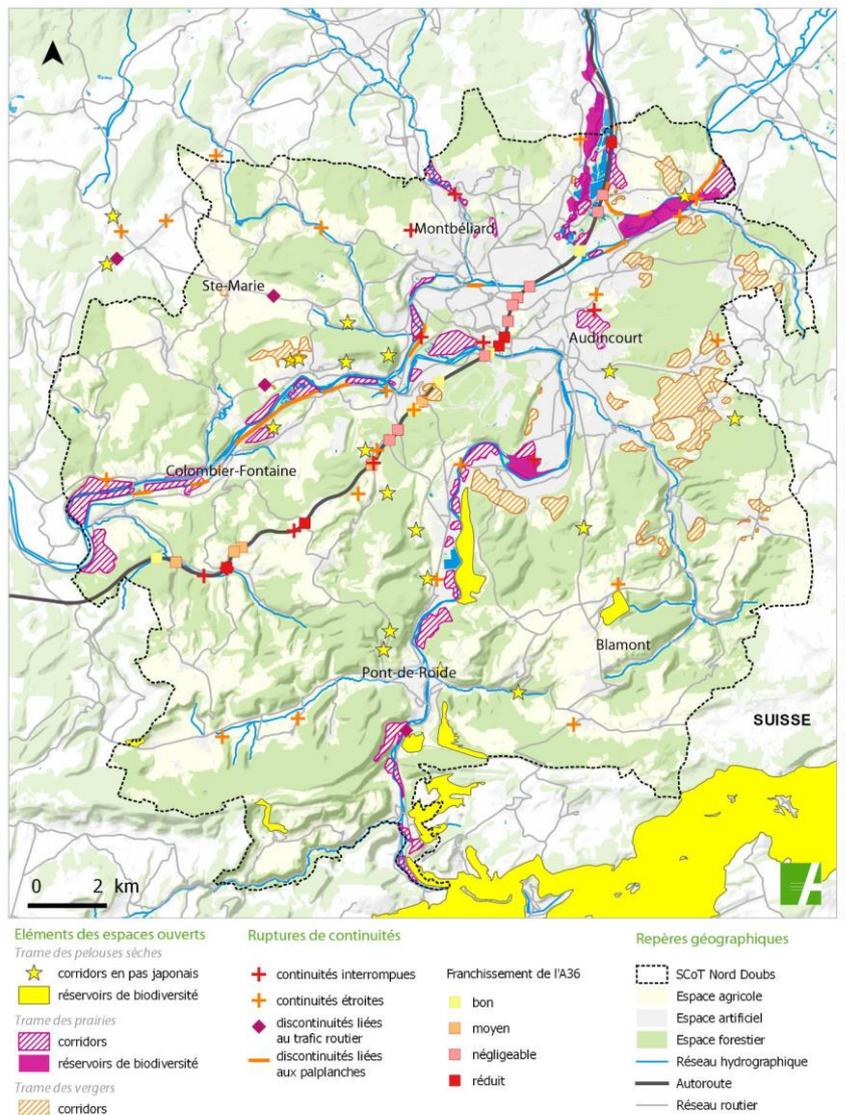
Xavier Girardet, Céline Clauzel. Graphab. 14 réalisations à découvrir. Actes de la journée "Retour d'expérience sur Graphab" du 27 juin 2017. France. Théma / Ladyss, 2018. fffhal-01701885.

Zetterberg A, Mörtberg UM, Balfors B. Making graph theory operational for landscape ecological assessments, planning, and design. *Landsc Urban Plan.* avr 2010;95(4):181-91.

43  **Dupuis O., Vaniscotte A. et Suire S. (2021).** Analyse de la connectivité de la trame des vergers haute-tige et milieux associés sur le territoire de Pays de Montbéliard Agglomération. Programme INTERREG Pérenniser les vergers haute-tige franco-suisses. LPO Bourgogne-Franche-Comté, Vergers Vivants. 50p.

Annexes

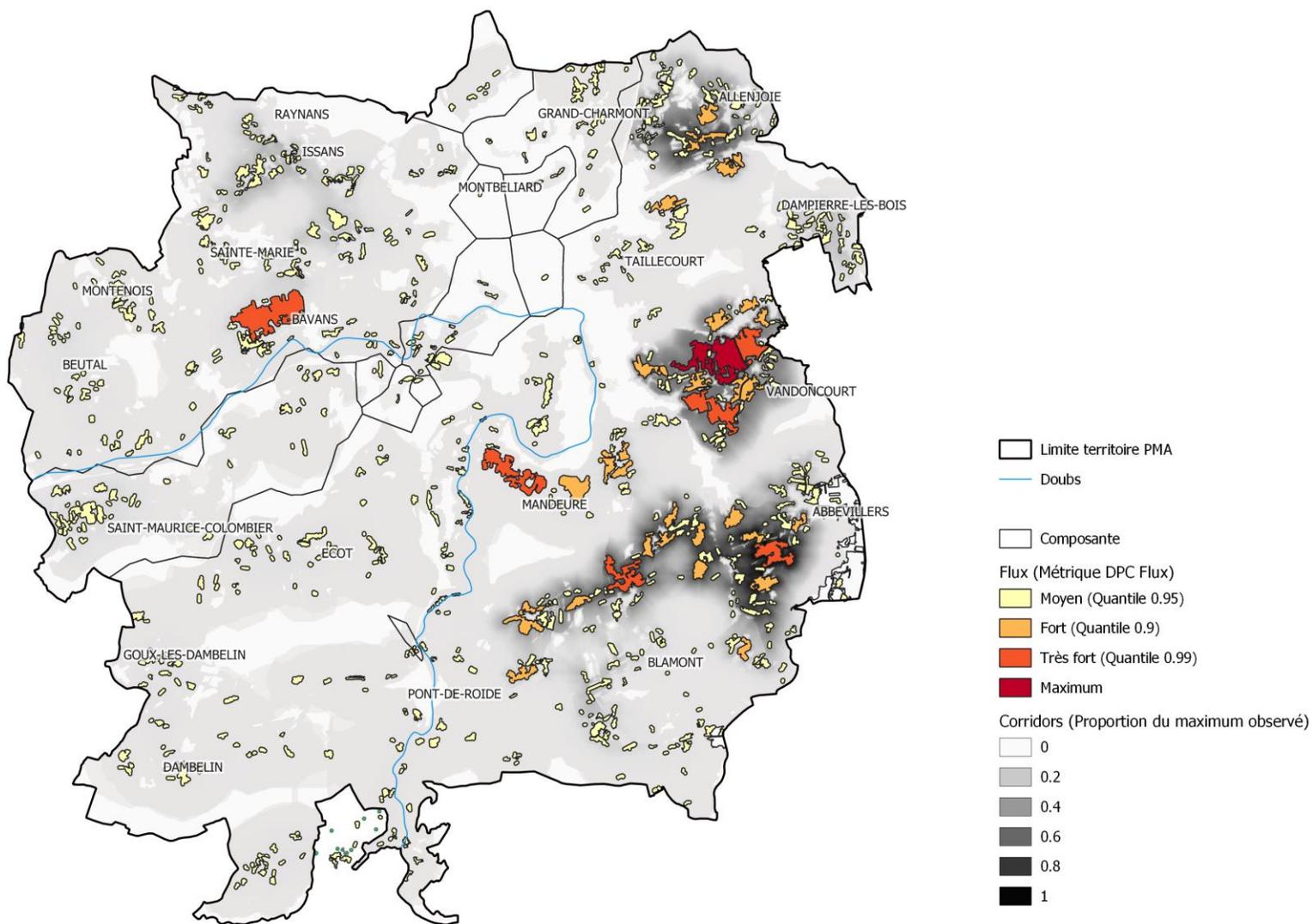
Annexe 1 : Trame verte extraite du SCoT Nord Doubs



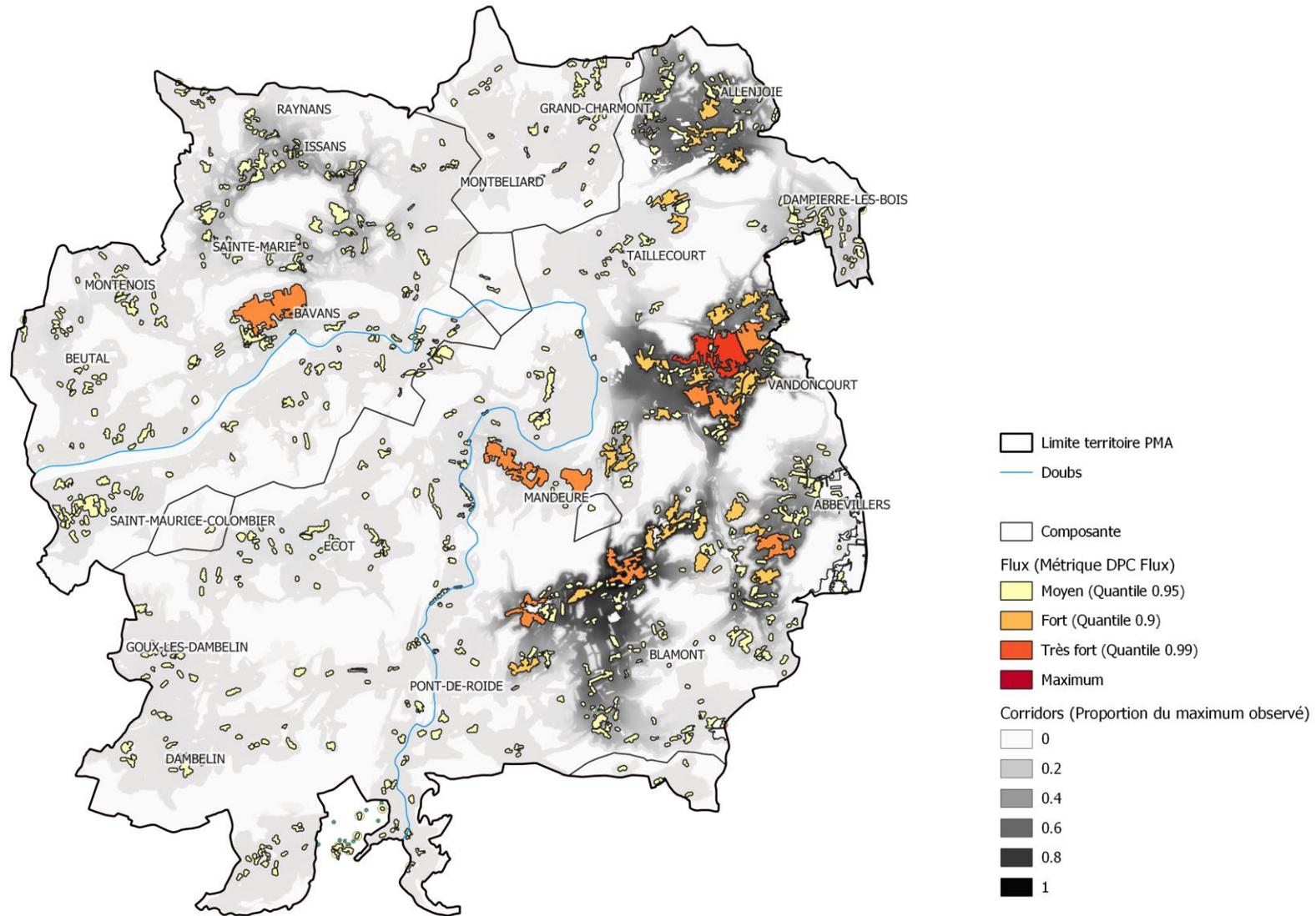
Annexe 2 : Tableau récapitulatif des métriques pondérées disponibles sous Graphab

Nom	Code	Global	Composante	L	D	Fonctionnement	Valeur
Flux	F	x	x	x		<p>Pour la tache focal i : somme des capacités des taches différentes de i et pondéré en fonction de la distance minimale à la tache i. Indicateur de la dispersion potentielle jusqu'à ou à partir de la tache i. Tient compte de toute les taches indirectement connectées (pas seulement les taches voisines).</p> <p>Au niveau global : somme de la dispersion potentielle de toute les taches</p>	<p>Si a est la surface, alors F est une surface</p> <p>Min : 0</p> <p>max : Surface totale de l'habitat</p>
Connectivité équivalente	EC	x	x		x	<p>Racine carrée de la somme des produits de la capacité de tous les couples de taches pondérées par leur probabilité d'interaction (avec distance minimale entre les deux)</p>	<p>Unité : capacité des taches</p> <p>Min : 0</p> <p>Max : Capacité totale des taches</p>
Probabilité de connectivité	PC	x	x		x	<p>Idem sauf qu'à la place de faire la racine de la somme, on la divise par le carré de la surface totale des taches. Représente la probabilité que 2 individus pris au hasard puissent entrer en contact.</p>	<p>Probabilité</p> <p>Min : 0</p> <p>Max : 1</p>
Flux d'interaction	IF			x		<p>Pour la tache focale i : somme des produits de la capacité de la tache focale avec toutes les autres taches, pondérées par leur probabilité d'interaction.</p> <p><=> Contribution de la tache focale à PC, autre méthode de calcul de dPC (par de retrait itératif des taches)</p>	<p>Unité : capacité des taches</p> <p>Min : 0</p> <p>Max : Somme des capacités</p>
Décomposition de PC	dPC				x	<p>Taux de variation entre la valeur de PC et de PC'_i représentant la suppression de la tache i. Composé de 3 parties :</p> <ul style="list-style-type: none"> -dPC_{area} : variation due à la perte de la surface de i -dPC_{flux} : variation due à la perte des interactions entre i et les autres taches -dPC_{connector} : variation due à la modification des chemins entre les autres taches passant initialement 	<p>Min : 0</p> <p>Max : 1</p>

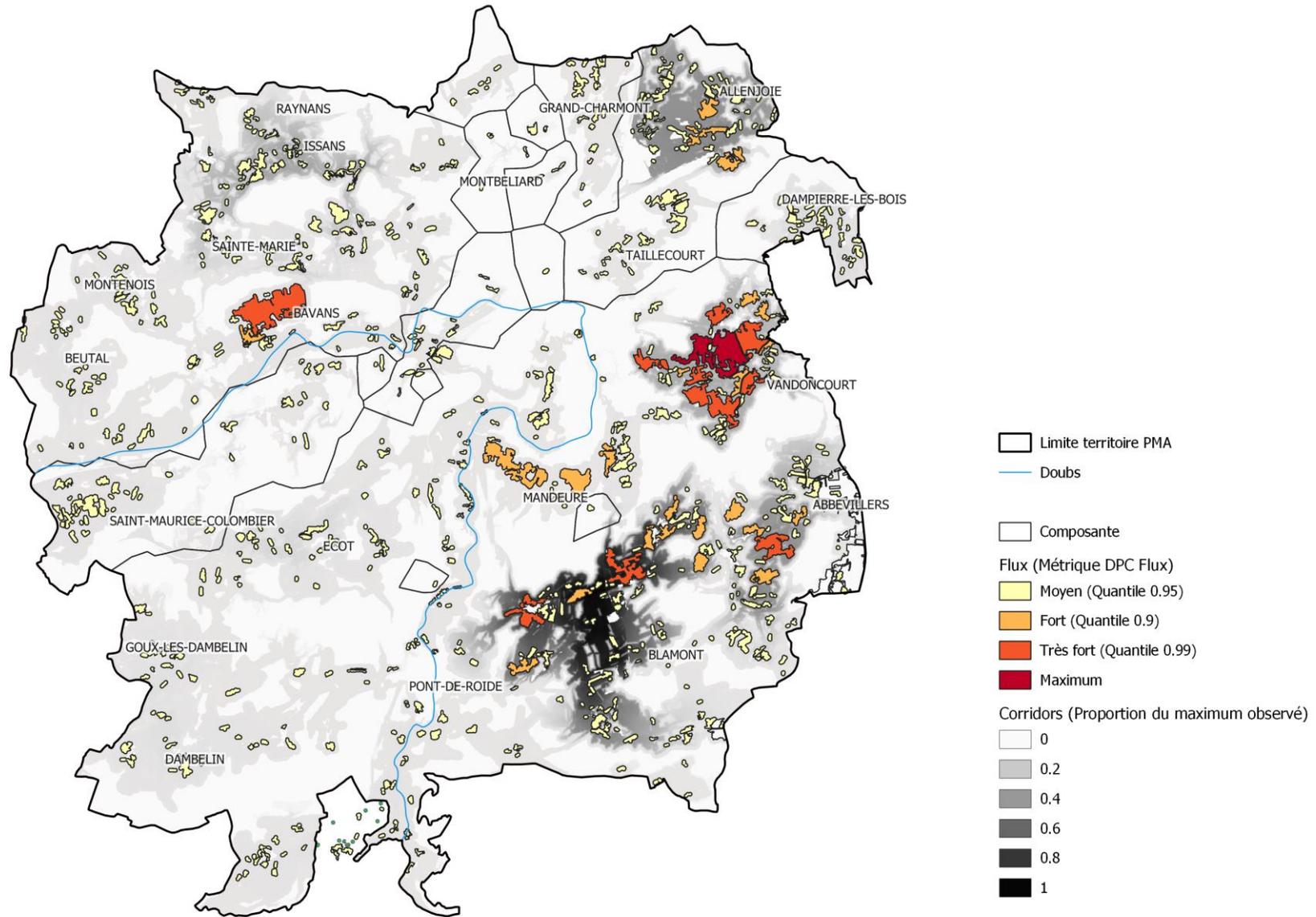
						par i	
Indice de centralité intermédiaire	BC			x		Somme des plus courts chemins passant par la tache focale i, chaque chemin étant pondéré par la capacité des taches reliées et leur probabilité d'interaction. Dépend pas mal du paramétrage	
Indice intégral de connectivité	IIC	x	x		x	Produit de la capacité des couples de taches divisé par le nombre de liens qui les séparent, la somme étant divisé par le carré de la zone d'étude. IIC construit comme PC, mais utilise une distance topologique (nb de liens) plutôt qu'une distance exponentielle négative de la distance basée sur l'impédance des liens.	Min : 0 Max : 1
Flux circuit	CF				x	Basé sur la théorie des circuits électriques. Somme des courants traversant la tache focale. C_{ij} représente le courant à travers la tache i lorsqu'un courant est émis depuis toutes les taches vers j (j étant reliée à la terre). Ici, chaque lien représente une résistance électrique, les sources de courant et la terre correspondent aux taches. Si $\beta = 0$, chaque tache émet un courant unitaire, si $\beta = 1$, chaque tache émet un courant égal à sa capacité. Peut être vu comme un équivalent à BC (avec $\alpha = 0$ et $\beta = 0$) qui tient compte de l'ensemble des chemins possibles et plus seulement du plus court.	Min : 0 Max : dépend de la valeur de β



Annexe 4 : Corridors et moyenne de la métrique « DPC Flux » en considérant le Hérisson d'Europe



Annexe 5 : Corridors et moyenne de la métrique « DPC Flux » en considérant le groupe des insectes grands disperseurs



Annexe 6 : Corridors et moyenne de la métrique « DPC Flux » en considérant le groupe des insectes petits disperseurs

