



**HAL**  
open science

# Recherche bibliographique sur la capacité de dispersion des oiseaux afin de modéliser le paysage et sa connectivité à l'aide de la théorie des graphes

S. Guingand

► **To cite this version:**

S. Guingand. Recherche bibliographique sur la capacité de dispersion des oiseaux afin de modéliser le paysage et sa connectivité à l'aide de la théorie des graphes. Sciences de l'environnement. 2015. hal-02602166

**HAL Id: hal-02602166**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02602166v1>**

Submitted on 16 May 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

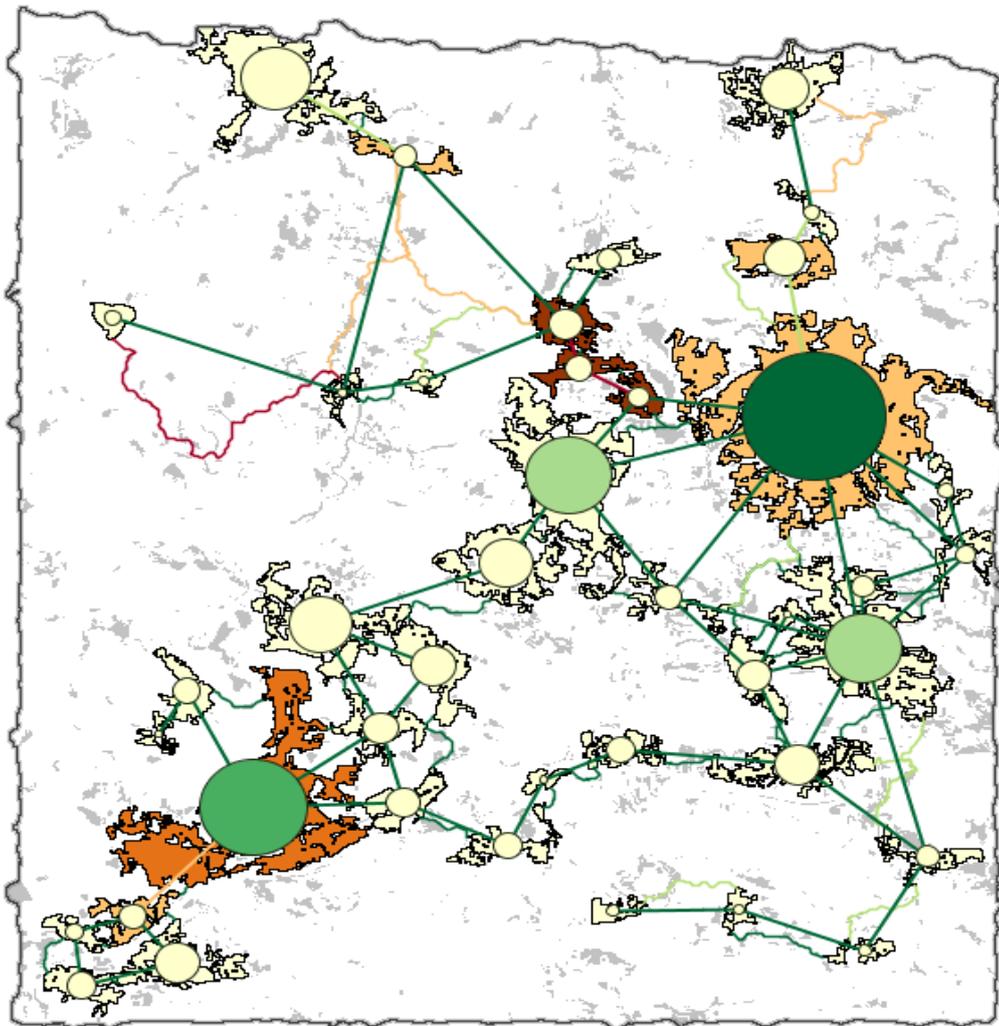
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Rapport de stage**

*Master 1 Biodiversité, Ecologie, Environnement*

*UFR Chimie Biologie, Université Joseph Fourier*

Recherche bibliographique sur la capacité de dispersion  
des oiseaux afin de modéliser le paysage et sa  
connectivité à l'aide de la théorie des graphes.



**Figure 1** : graphe paysager de l'Alouette lulu : taches d'habitats et liens classés par importance pour la connectivité, et nœuds classés selon leur qualité.

**Guingand Sophie**

Encadrée par Mr Duflot Rémi, Mr Bergès Laurent et Mme Avons Catherine  
Responsable du Master : Mr Pompanon François

# Sommaire

I.	Introduction .....	1
II.	Matériel et méthode.....	2
	Zone d'étude et inventaire .....	2
	Recherches bibliographiques .....	3
	Etude de cas .....	3
III.	Résultats .....	6
	Recherche bibliographique .....	6
	Etude de cas .....	9
IV.	Discussion.....	12
	Références.....	14
	Résumé .....	24
	Annexes .....	16

## I. Introduction

L'écologie du paysage et plus particulièrement la notion de connectivité paysagère prend de plus en plus d'importance dans les débats actuels sur la conservation de la biodiversité. En effet en conséquence de l'étalement urbain et des activités humaines croissantes, les milieux naturels souffrent d'une forte fragmentation, (Avon et Bergès, 2013). Cette fragmentation du paysage implique plusieurs effets, une réduction de la surface totale disponible et de la taille des tâches des habitats, ainsi qu'une augmentation de l'isolation des tâches d'habitats restantes, accompagné d'une augmentation de l'effet lisière et d'une perte d'habitat d'intérieur (Fahrig, 2003). Cela provoque un impact significativement négatif sur la biodiversité. En effet il a été démontré que des populations animales isolées dans un habitat fragmenté sont plus vulnérables à l'extinction (diminution du taux de croissance) contrairement à celles présentes dans des habitats interconnectés (Fahrig et Merriam, 1985). L'isolement des tâches induit une interruption ou une diminution brusque des flux d'individus, des flux géniques, et des déplacements quotidiens des individus, nécessaires à la survie des métapopulations. Ainsi, des travaux théoriques et expérimentaux supportent l'hypothèse selon laquelle la connectivité des habitats est un moyen de contrebalancer les effets négatifs de la fragmentation (Fahrig et Merriam, 1985).

Les ressources sont réparties non uniformément dans la nature. La connectivité se définit donc par le degré de facilitation de l'accès à ces tâches de ressources par le paysage (Taylor 1993). Il existe différents indices permettant de mesurer la connectivité d'un habitat dans un paysage. Dans cette étude nous nous intéressons à la connectivité fonctionnelle. Celle-ci intègre à la fois des attributs paysagers (taille, nombre, nature...) et des données sur l'écologie des espèces, telles que le comportement et la capacité de dispersion (Avon et Bergès, 2013). Des indices de connectivité seront calculés à partir de la théorie des graphes permettant de modéliser l'habitat d'une ou plusieurs espèces comme un ensemble de nœuds (les tâches d'habitat) reliés par des liens représentant les flux biotiques ou abiotiques d'intérêt (par exemple la dispersion d'une espèce ; Urban et Keitt, 2001). Les liens peuvent être calculés suivant les caractéristiques du paysage et de dispersion de l'espèce. L'analyse du graphe ainsi construit permet de calculer des indices de connectivité à différents niveaux (connectivité globale du réseau, au niveau des tâches, au niveau des liens) permettant de classer les nœuds et les liens selon leur importance dans la connectivité du réseau de l'habitat.

La théorie des graphes est une méthode qui permet d'intégrer l'écologie des espèces. Le modèle peut être simple ou plus ou moins complexe (Saura et Rubio, 2010). Ici, l'information écologique disponible s'appuie sur des données de présence des espèces et des recherches bibliographiques. Ces recherches permettront de constituer un modèle de niche par l'ajout d'informations nécessaires aux données écologiques, tel que la taille des domaines vitaux et les capacités de dispersions, qui sont des données entrant dans le calcul des métriques de connectivité du graphe paysager. Ce modèle de niche est construit à partir de données d'observation des espèces et de données environnementales spatialisées. Ce modèle de niche constitue ici les données d'entrée pour un graphe (généralement basé uniquement sur des

cartographies d'occupation du sol et avis d'expert, mais qui ici fera l'objet d'une recherche bibliographique).

Ce rapport contient les résultats des recherches bibliographiques qui ont constitué la majeure partie des objectifs du stage. Ces recherches, ciblées sur les espèces d'oiseaux les plus fréquemment observées dans la zone d'étude, ont porté sur des éléments d'écologie nécessaires dans l'élaboration des modèles de niche et la construction de graphes paysagers. Les informations écologiques recherchées concernaient (1) la capacité de dispersion et de stratégies d'occupation de l'espace des espèces, (2) les différents types d'habitats occupés ou non, ainsi que (3) les tailles des territoires et/ou domaines vitaux des espèces. Dans un second temps afin d'illustrer la démarche, celle-ci a été appliquée à l'espèce *Lullula arborea* (Alouette lulu). Cette étude de cas a été réalisée sur la zone de la Dracénie (dans la région de Draguignan) qui présente des habitats fragmentés ce qui en fait un bon exemple d'étude de la connectivité paysagère.

## II. Matériel et méthode

### Zone d'étude et inventaire

La zone d'étude est celle de Draguignan située dans le département du Var et la région Provence Alpes Côtes d'Azur. La ville se situe à 200 mètres d'altitude et dominée par le Malmont qui culmine à 551 mètres mais qui ne constitue pas un obstacle altitudinal à la dispersion des oiseaux. Cette zone est soumise à diverses pressions telles que la reconquête forestière par l'abandon du pastoralisme, une dynamique urbaine centrée sur la conurbation entre noyaux urbains le long des axes routiers (A8), et de mitage des zones semi-naturelles par l'urbain diffus entraînant une hétérogénéité paysagère importante. Les collines de la région dracénoise sont donc caractérisées par une mosaïque de paysages ouverts et forestiers fragmentés. L'étude a été menée sur une zone de 200 km<sup>2</sup>, dans laquelle des inventaires ont été réalisés dans les différents habitats, et pour différents groupes taxonomiques. Dans cette étude nous nous intéresserons exclusivement à l'avifaune. Par ailleurs, une cartographie détaillée de la zone a été réalisée selon une méthode de photo-interprétation d'images aériennes et suivant une typologie adaptée d'EBONE (méthodologie européenne pour la description des habitats et l'occupation du sol).

En 2013 118 relevés d'avifaune ont été effectués sur le terrain par le bureau d'étude ECOMED. Les relevés ornithologiques ont été réalisés en suivant la méthodologie d'Echantillonnage Ponctuel Simple (EPS) consistant en un dénombrement de toutes les espèces d'oiseau que l'observateur entend ou voit, en restant stationnaire en un point pendant cinq minutes. Il appartient à l'observateur de juger si deux contacts sont à attribuer au même individu ou à deux individus différents. La distance des contacts à l'observateur est notée selon trois catégories (moins de 25 m, entre 25 et 100 m, plus de 100 m). Chaque EPS est effectué en période de nidification et les sites à prospecter sont choisis par tirage aléatoire suivant un plan stratifié (un habitat sera d'autant plus souvent échantillonné que celui-ci est présent dans la zone).

## Recherches bibliographiques

Les sources bibliographiques, tel que le livre « Atlas des oiseaux nicheurs de PACA » aux Editions Delachaux et Niestlé, ont permis de détailler les différents types d'habitats favorables, préférentiels, répulsifs ou à faible potentialité, d'espèces les plus fréquentes dans les relevés ornithologiques. Par la suite des sites internet fiables tel que oiseau.net (<http://www.oiseaux.net/>), qui tire ses conclusions à partir de données reconnues tels que les « guides ornitho » des Editions Delachaux et Niestlé, et le site de l'INPN (<http://inpn.mnhn.fr>) mis en place et maintenu à jour par le Muséum National d'Histoire Naturel de Paris ont permis de compléter les recherches.

Les recherches bibliographiques concernant les capacités de dispersion et de domaines vitaux ont consisté en premier lieu à définir les concepts écologiques de ces sujets et de déterminer les différents processus écologiques et éthologiques dans lesquels ils interviennent. Cela a permis de définir un ensemble de mots clés tel que « dispersal », « movement », « landscape », « territory », « connectivity », « migratory ». Cette liste non exhaustive, s'est affinée au cours des recherches avec l'ajout d'autres mots clés : « philopatry », « flock », « fragmentation », « metapopulation », « home range » (les recherches ont été réitérées pour compléter les informations avec les mots clés trouvés plus tardivement). Les informations ont été sélectionnées essentiellement à partir de publications scientifiques issues des plateformes de recherches Web of Science, Scopus, ou Google Scholar. La ligne de commande utilisée pour les recherches était constituée du nom scientifique de l'espèce entourée de guillemets, permettant d'obtenir des résultats pour l'espèce ciblée uniquement, suivie des différents mots clés choisis. La commande se présentait alors sous la forme suivante : "Lullula arborea" AND dispersal OR territory, la présence de connecteur logique permettant d'affiner les résultats et de rassembler les thèmes de recherches en une seule commande. La plupart des informations recueillies proviennent des revues scientifiques internationales à comité de lecture, mais certaines informations plus rares ont été obtenues à partir de thèses ou encore sur des sites spécialisés. L'article de Paradis (1998, trouvé lors de recherches précédentes), et contenant des informations sur un grand nombre d'espèces, a servi de base pour comparer les capacités de dispersion et a permis d'estimer la pertinence des données à utiliser pour nos modèles.

## Etude de cas

### ***Recherche bibliographique***

Les recherches bibliographiques sur l'Alouette lulu ont été réalisées de la même façon et avec les même mots clé que décrits précédemment. Cependant un apport d'informations a été obtenu grâce aux fiches synthétiques relatives aux traits de vie des espèces animales de cohérence nationale Trame Verte et Bleu (TVB) en Provence-Alpes-Côte d'Azur (Fiches descriptives des espèces TVB-PACA. 2013). Cette fiche espèces de l'Alouette lulu a permis de renseigner de façon ciblée les données d'habitats et de domaine vital.

## Modélisation et graphe paysager

Afin d'illustrer l'apport de la modélisation de niche et de la théorie des graphes à l'étude de la connectivité paysagère, le cas de l'Alouette lulu, *Lullula arborea*, seule espèce représentant la famille des Alaudidés dans nos relevés, est étudié. Cette espèce affectionne les milieux ouverts xériques tels que les pelouses, prairies ou steppes et les milieux semis ouverts de types landes, garrigues, maquis. Cette espèce est présente toute l'année en France et bénéficie d'une protection totale sur le territoire Français depuis l'arrêté ministériel du 17 avril 1981 (Le statut juridique des oiseaux sauvages en France, Ligue pour la protection des oiseaux). L'Alouette lulu est considérée comme étant une espèce pertinente pour guider la mise en œuvre de la trame verte en région PACA (Fiches descriptives des espèces TVB-PACA. 2013).

Les cartes de données de présence de l'Alouette lulu, et des données environnementales (fichiers Raster) issues d'un travail préalable sur ArcGis ont été implémentées dans le logiciel Maxent (**Tableau 1**). Le logiciel Maxent a été principalement utilisé avec les paramètres d'analyses par défaut. La fiabilité du jeu de donnée a été estimée par validation croisée, en divisant le jeu de données en quatre sous-échantillons de tailles égales. Trois sous-échantillons servent à construire le modèle (échantillons d'apprentissage ou « training sample ») et le sous-échantillon restant sert à tester le modèle (échantillon de test ou « test sample »). Quatre répliques sont construits en utilisant tour à tour chacun des quatre sous échantillons comme échantillon test, et une moyenne de ces quatre modèles est réalisée. L'AUC (aire sous la courbe) qui se base sur le taux d'erreur, permettra par la suite de connaître la capacité prédictive du modèle indépendamment des valeurs de seuil. Le test « Maximum test sensitivity plus specificity » sera utilisé pour analyser le modèle et déterminer une valeur de seuil.

Classe	Variables environnementales	Source	Résolution Original
<b>Terrain</b>	Altitude (dem_elevation) Pente (dem_slope)* Radiation solaire (dem_solar_rad) Indice de Position Topographique (dem_tpi)*	MNT (BD Topo IGN ©)	25m
<b>Géologie</b>	(geol)*	Digitalisé à partir des cartes papier du BRGM ©	
<b>Végétation</b>	Densité d'arbre (veg_treecover) NDVI juillet 2013 (veg_ndvijul2013) NDWI juillet 2013 (veg_ndwijul2013)*	Hansen et al, 2013 Landsat 8 Landsat 8	30m 30m 30m
<b>Occupation du sol</b>	Occupation du sol (landcover_niv2 *)	Carte issue de photo-interpretation	-
<b>Proximité</b>	Densité forestière (dens_forest) Densité des habitats arbustifs (dens_shrub) Densité des pelouses (dens_grass) Densité des terres agricoles (dens_farm) Densité urbaine (dens_urb)* Distance à un point d'eau (proxi_hydro) Distance aux routes principales (proxi_road1)	Carte issue de photo-interpretation  Cartage (BD Topo IGN ©) Route (BD Topo IGN ©)	-  - -

**Tableau 1 :** Variables environnementales utilisées pour établir les modélisations Maxent pour l'Alouette lulu. (\* données environnementales ayant une contribution significative à la distribution de l'espèce et ayant été utilisées pour établir le modèle final).

Les contributions des variables au modèle ont été estimées par la méthode dite « Jackknife » qui génère des modèles en éliminant une à une les variables environnementales. Cela permet d'évaluer l'importance de chaque variable séparément par comparaison des performances des modèles avec ou sans la variable considérée. Un second modèle a été reconstruit en intégrant uniquement les variables contribuant le plus au modèle : NDWI, occupation du sol (land cover 2), densité de l'urbain, géologie, pente, Indice de position topographique (TPI).

Les sorties de Maxent permettent d'obtenir une carte de probabilité de présence. Cette carte de probabilité de présence a été seuillée pour obtenir une carte des habitats les plus favorables (carte binaire, habitat/non-habitat). La valeur du seuil a été choisie pour correspondre au maximum de la somme de la sensibilité et la spécificité du modèle (« Maximum test sensitivity plus specificity ») (Liu, 2013 ; Stevenson-Holt *et al* 2014), c'est-à-dire qui minimise les taux d'erreur du modèle. Le logiciel ArcGis et l'outil Spatial Analyst ont permis de transformer la carte de probabilité de présence en une couche de friction. Cette couche modélise la résistance au déplacement de l'espèce en fonction de la qualité de l'habitat à traverser. Elle est obtenue à l'aide d'une relation exponentielle inversée qui attribue à un pixel favorable à l'espèce un coût de déplacement faible, et à un pixel défavorable un coût de déplacement élevé. La couche contient alors des données de coût par pixel comprises entre 1 et 1000 (la valeur 1000 indique que le coût énergétique pour parcourir un mètre dans ce milieu est équivalent à celui d'une distance de 1000 m en milieu de coût 1).

Dans un second temps, ces deux couches 'habitat' et 'friction' sont importées dans le logiciel Graphab (Foltête *et al.* 2012). Seules les tâches d'habitats de surface supérieure ou égale au domaine vital minimum de l'Alouette lulu (soit 12 hectares, cf. résultat bibliographique) sont conservées. Un jeu de liens de topologie planaire est créé. Cela permet de modéliser les interactions entre les tâches d'habitats. Les liens entre tâches d'habitats sont caractérisés par une distance de moindre coût, calculée à partir de la couche friction. Ces liens représentent donc la facilité de déplacement entre tâches d'habitats dans une matrice plus ou moins perméable à l'espèce.

Enfin un graphe paysager est créé à partir des tâches d'habitats et des liens entre ces tâches. La valeur de la capacité des tâches est calculée en fonction de sa surface (calcul par défaut). Les distances de moindre coût des liens sont transformées en probabilité de mouvement ( $p$ ), en lien avec la capacité de dispersion de l'Alouette lulu. Ici, nous avons retenu  $p = 0.5$  pour une capacité de dispersion moyenne de 12km (Saura & Pascual-Hortal 2007, Bunn *et al.*, 2000).

L'indice probabilité de connectivité part connector  $dPC_{conn}$  issu de la décomposition de l'indice de connectivité paysagère global  $dPC$  (Saura et Rubio, 2010) sera plus particulièrement étudié. Cet indice permet de calculer l'importance d'un élément pour la connectivité du réseau en le supprimant et, a été calculé pour l'ensemble des nœuds et des liens. L'indice  $dPC_{conn}$  dépend uniquement de la position de la tâche ou du lien dans le réseau et contribue à la connectivité seulement si celui-ci fait partie du meilleur chemin reliant deux tâches (Avon et Bergès, 2013).

### III. Résultats

#### Recherche bibliographique

##### Habitat

Les recherches concernant les habitats préférentiels, favorables et répulsifs des différentes espèces ont permis d'établir différents sous-groupes affectés à certains types d'habitats. Les espèces ont été distinguées selon six classes. Les espèces forestières strictes, dépendantes uniquement d'un boisement dense, les espèces forestières non strictes (classe boisements) pouvant quitter les forêts ou vivre vers des boisements moins denses. Les espèces dépendantes des arbres et non des boisements eux-mêmes (lisières de forêts, ripisylves, parcs urbains etc.), ont été rattachées aux habitats de types boisements ouverts. Les espèces vivants préférentiellement dans des milieux peu denses et non dépendantes des arbres sont rattachées aux milieux ouverts, et les espèces inféodées aux zones urbaines, ont été classées comme anthropophiles. Enfin, une nouvelle catégorie a été créée pour certaines espèces pour lesquelles l'établissement est conditionné par la présence de milieux ouverts et fermés à la fois (classe milieux diversifiés, **Tableau 2, Annexe 1**). Ces recherches ont permis de renseigner le modèle de niche.

Nom latin	Nom français	Exigences	Milieux préférentiels	Milieux favorables	Milieux défavorables, ou à faible potentialité
<i>Sylvia atricapilla</i>	Fauvette à tête noire	boisements ouverts, généraliste	milieu arboré avec strate arbustive	valons, ripisylves, bois, haies, parc, jardin, campagne, périphéries voire dans les villes	un peu moins bouquets d'arbres, pins ou chênes vert des maquis
<i>Parus major</i>	Mésange charbonnière	boisements, lisières, arbres	vieux boisement peu dense	forêts élevées, feuillus, boisement de résineux, parc urbain, villages	défavorable : vastes étendues dans les taillis de chêne vert, garrigues basses à romarin ou chênes kermès
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Rossignol philomèle	zones buissonnantes et arborées	milieux boisés ou arbustives, souvent près des cours d'eau et des zones habités	taillis sous-bois, garrigues, maquis, ripisylve, parfois jardins, ripisylves	-
<i>Turdus merula</i>	Merle noir	alternance milieux ouverts et fermés	habitat diversifié	pelouse, champs clairière, lisières forestières, milieux boisés, broussailleux et ripisylves	-
<i>Fringilla coelebs</i>	Pinson des arbres	boisements	milieux arborées, arbustifs	boisement jusqu'à la limite supérieure des forêts	plus aléatoire dans les cultures viticoles et maraîchères
<i>Pica pica</i>	Pie bavarde	zones urbaines	paysages ouverts avec haies et buissons	terres cultivées, prairies, périphéries et cœur des villes, villages	évite l'intérieur des massifs forestiers denses
<i>Apus apus</i>	Martinet noir	zones urbaines	villes villages, ruines		-
<i>Garrulus glandarius</i>	Geai des chênes	boisements	forêts	boisement de feuillus	-

**Tableau 2 :** extrait du tableau des habitats préférentiels, favorables et défavorables de 23 espèces d'oiseaux (classées par ordre d'occurrence), sélectionnés pour l'étude de la connectivité paysagère et ayant fait l'objet d'une recherche bibliographique (tableau complet en **Annexe 1**).

**forestiers stricts** **boisements** **boisements ouverts** **anthropophiles** **milieux diversifiés**

##### Domaine vital et capacité de dispersion

Différentes définitions du domaine vital et de la dispersion sont connues. Le domaine vital peut être défini comme un territoire, nécessitant de la part de l'individu une implication plus ou moins grande pour sa défense et son marquage (chant territorial, combat, tolérance des voisins...). Généralement le

territoire reste moins grand que le domaine vital qui contient des sites d'alimentation extérieurs au site de nidification. Pour notre étude cette dernière définition sera plus utile que la définition de la taille du territoire, car il s'agit de la taille minimale d'un habitat pour accueillir un nombre donné d'individus d'une espèce. Cependant l'information reste utile lorsque peu ou pas de données sur la taille du domaine vital sont disponibles, ou lorsque que le territoire contient les sites d'alimentation et de reproduction de l'espèce (**Tableau 3**).

Il existe différentes méthode de calcul de l'aire du domaine vital. L'une d'entre elle consiste à regarder l'occurrence des oiseaux selon un gradient de distance (télémétrie, radiotracking, suivi à vue ou au chant) et de définir une zone cœur (où l'espèce est très souvent présente et où ses activités se concentrent), et une zone périphérique souvent utilisée pour l'approvisionnement. Cette méthode permet de sectoriser les domaines vitaux en sous domaines. Une des autres méthodes consiste à séparer l'espace en polygones et à définir le domaine vital comme le polygone convexe le plus petit contenant les points de présence des individus. Cette méthode appelée « minimum convex polygon » (MCP) est une méthode encore très utilisée car simple mais tend à surestimer la taille des domaines vitaux (Burgman, 2003).

Les tailles des domaines vitaux tendent à fluctuer selon les milieux et les saisons (reproduction/hors reproduction). Pour l'établissement des graphes paysagers les tâches sélectionnés correspondent au domaine vital hors saison de reproduction. En effet, les individus tendent à se tolérer moins entre eux lors de cette période, nécessitant des domaines vitaux plus grand (les couples étant séparés et s'éloignant plus du nid), il nous a semblé plus intéressant d'un point de vu conservatif de sélectionner des habitats pouvant accueillir des individus pendant les moins bonnes saisons. Le même type de raisonnement a été opéré lorsque le type de milieu influe sur le domaine vital, la taille de taches sélectionnées est celle de l'habitat préférentiel et le plus grand possible.

La capacité de dispersion est souvent associée à un stade de la vie des individus ou à un comportement particulier. La dispersion la plus courante chez les oiseaux est celle des juvéniles qui vont partir du lieu de naissance pour établir leur propre territoire, favorable à leur reproduction future. Mais il existe d'autres types de dispersions saisonnières (recherche de partenaire, de meilleurs sites d'alimentation, ou de reproduction) qui constitue une exploration de l'environnement hors du domaine vitale (**Tableau 3**). Ces traits comportementaux propres aux espèces (voire aux individus) varient suivant que l'espèce est considérée comme migratrice, migratrice partielle ou sédentaire, et selon leurs comportements territoriaux. Par exemple, une espèce sédentaire et très territoriale aura tendance à disperser moins que des espèces migratrices ou non territoriales, d'où l'intérêt de définir les stratégies d'occupation de l'espace. Pour caractériser les liens d'un graphe paysager, la capacité de dispersion la plus faible, ou si elle existe, la capacité de dispersion moyenne des espèces sera utilisée. La dispersion maximale reste utile, car elle correspond à un évènement rare important pour les flux géniques, mais ne sera pas utilisée ici (**Tableau 3**).

Nom latin	Nom français	Nombre d'occurrence	dispersion natale moyenne Paradis 98 (km)	Distance moyenne de dispersion	Capacité de dispersion	Domaine vital	Stratégie d'occupation de l'espace
<i>Sylvia atricapilla</i>	Fauvette à tête noire	81	41,2	-	post-reproduction : 87% 25km autour du nid, 79% à plus de 25 km (parfois plus de 100 km) dispersion aléatoire	1,12 ha	migratrice partielle
<i>Parus major</i>	Mésange charbonnière	73	5,3	femelles à la naissance : 879 m mâle à la naissance : 558 m adultes : 400 m	dispersion des nouveaux nés : 700-1100 m du lieu de naissance dispersion juvéniles FEMELLES : 643 ± 376 m dispersion juvéniles MALES : 498 ± 310m distances juvéniles max : 3000 m	1,4 ha (attention n=3)	sédentaires : peuvent entreprendre de courts mouvements de transhumance (reproduction) la région reçoit des individus originaires de Suisse, Pologne (mars avril)
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Rosignol philomèle	71	x	-	Migration longue distance, puis très fidèle à son territoire de reproduction	0,6745 (1,948-0,128) ha	2 territoires différents : période de reproduction/ non reproduction
<i>Turdus merula</i>	Merle noir	59	3,3	-	85,5 % des individus se dispersent à moins de 3 km du lieu de naissance vol courte distance	forêt : 0,2-0,5 ha ville : 0,1-0,3 ha jardins : 0,162 - 0,243 ha (min : 0,093 ha max 0,49 ha) en acre	-
<i>Fringilla coelebs</i>	Pinson des arbres	56	3,6	-	-	min-max : 0,1 - 1,2 ha moyenne : 0,67 ha	Sédentaire peu entreprendre des déplacements de courte distance (besoins alimentaires)
<i>Pica pica</i>	Pie bavarde	46	7,9	médiane mâles : 350 m autour du nid médiane femelle : 497,5 m autour du nid	max Angleterre : 86,9 km Finlande : 450 km, seulement 25% se dispersent à plus de 8,05 km nouveau née : 12% vont au-delà de 750 m autour du nid dispersion juvéniles : jusqu'à 1,5 km	automne : 16,57 ± 7,78 ha/ hiver : 20,10 ± 8,89 ha : différence ns printemps : 7,54 ± 2,42 ha, été : 10,14 ± 8,64 ha : significatif	capacité de petit déplacements pour se regrouper en dortoirs après la période de reproduction
<i>Apus apus</i>	Martinet noir	41	36,8	-	migration automnale : 8629-12380 km migration printanière : 7946-10390 km	12 ha	migration saisonnière
<i>Garrulus glandarius</i>	Geai des chênes	40	3,5	-	dispersion des glands de chênes : < 250 m de l'arbre sources, parfois jusqu'à 1km dispersion max Angleterre : 4 individus retrouvés à + de 32 km	4.7 ± 2.5 ha dans zone d'étude de 4ha (plutôt homogènes) 35.9 ± 17.2 ha dans zone de 40 ha (milieu diversifié)	-

**Tableau 3** : extrait du tableau résumant la taille des domaines vitaux ou territoires, des différentes capacités de dispersions, et des stratégies d'occupation de l'espace de 23 espèces d'oiseaux (classées par ordre d'occurrence), sélectionnés pour l'étude de la connectivité paysagère et pour lesquelles des recherches bibliographiques ont été menées (tableau complet en **Annexe 2**).

forestiers stricts boiselements boiselements ouverts anthropophiles milieux diversifiés

### **Recherche bibliographique**

L'Alouette lulu, *Lullula arborea*, est inféodée à des milieux ouverts et semis ouverts tels que les pâturages maigres, les garrigues et les landes buissonnantes (**Annexe 1**). Les caractéristiques d'habitat de cette espèce présente un intérêt particulier car les milieux ouverts et semi ouverts dans la zone de Draguignan présente une discontinuité paysagère importante et sont en régressions.

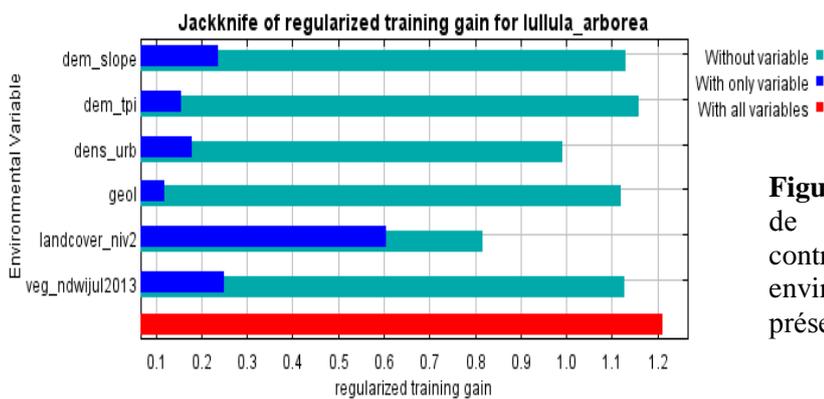
Les mouvements des adultes pour l'approvisionnement sont très courts. Ainsi cette espèce territoriale tend à se nourrir dans l'aire de son domaine vital. Celui-ci a été établi à environ 10 ha (Fiches descriptives des espèces TVB-PACA. 2013), et rarement en dessous de 3 ha (Bowden 1990). Pour la sélection des taches d'habitats, le territoire des individus six semaines avant la nidification (territoire maximum), qui est de 11.5 ha, et correspond à la période hors reproduction, a été choisi comme surface minimale à l'établissement de l'espèce. Cette donnée concorde avec la donnée du domaine vitale de 10 ha des Fiches descriptives des espèces TVB-PACA (2013 ; **Annexe 2**).

La capacité de dispersion de cette espèce a été peu étudiée mais une étude anglaise a mesuré les mouvements de courtes et longues distances (Conway 2009). La capacité de dispersion, allant de 6 à 99 km, a été déterminée à partir des mouvements des individus d'un territoire à un autre. Cependant cette étude n'indique pas le nombre de déplacements pour chaque kilométrage, mais seulement par catégories kilométriques. La moyenne pondérée de ces déplacements, obtenue en excluant la plus haute catégorie 25-99 km (considérée comme étant un outlier) est de 11.14 km. Ce résultat est conforté par le fait que la catégorie contenant le plus de déplacements (48.9%) est 6-21 km. Nous avons retenu une distance moyenne de dispersion de 12 km pour l'Alouette lulu. Cette décision a été guidée par l'étude de Zozaya *et al* (2012), qui prend comme modèle le Bruant ortolan vivant dans le même type de milieu, ayant des traits fonctionnels, comportementaux et une masse corporelle semblables à l'Alouette lulu et dont les traits de dispersion ont été transposés à cette espèce. Ce chiffre a été conforté par les données énumérées plus haut, (**Annexe 2**).

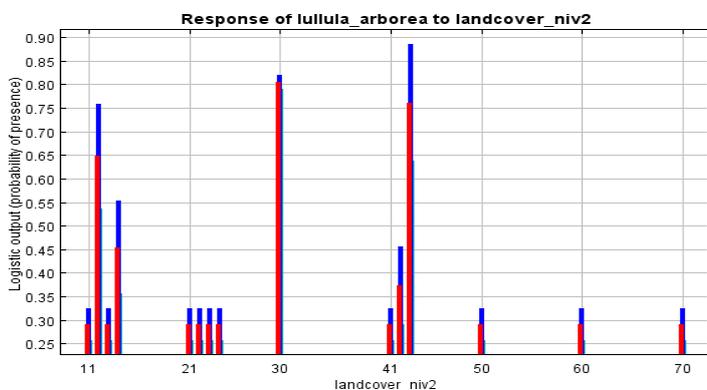
### **Modélisation et graphe paysager**

Les résultats du test de cross-validation sur le modèle de l'Alouette lulu est robuste avec une valeur d'AUC proche de 1 et des taux d'erreur faible ("Training AUC" moyen =  $0.939 \pm 0.0084$ , et "test AUC" moyen =  $0.857 \pm 0.051$ ). Le test Maximum sensitivity plus specificity montre un seuil moyen de 0.263, un taux d'erreur d'apprentissage (training omission rate) moyen de 0.104, et un taux d'erreur du test (test omission rate) moyen de 0.0625 avec une valeur de probabilité faible ( $p < 0.01$ ).

La variable environnementale dont la suppression a l'impact négatif le plus fort sur le gain est le "Landcover\_niveau2", soit le type de végétation. (**Figure 2**). La réponse de l'Alouette lulu à la couverture paysagère (**Figure 3**) permet de corréler la présence de celle-ci aux pelouses et prairies (code 30), à des zones de déprise agricoles ou friches herbacées (code 43), à des forêts décidues (code 12) et dans une moindre mesure aux forêts mixtes (code 14) et aux cultures pérennes (code 42). Ainsi les taches correspondant à ces habitats sont préférentiellement sélectionnées par l'espèce. La densité de l'urbain et une autre variable importante pour le modèle. Le gain du modèle est impacté négativement si celle-ci est supprimée. La courbe de réponse de cette variable indique que la probabilité de présence de l'espèce est de 50% pour une densité urbaine de 0.3. En effet cette espèce n'est pas présente dans les milieux urbains qui constituent un habitat non favorable à son établissement.



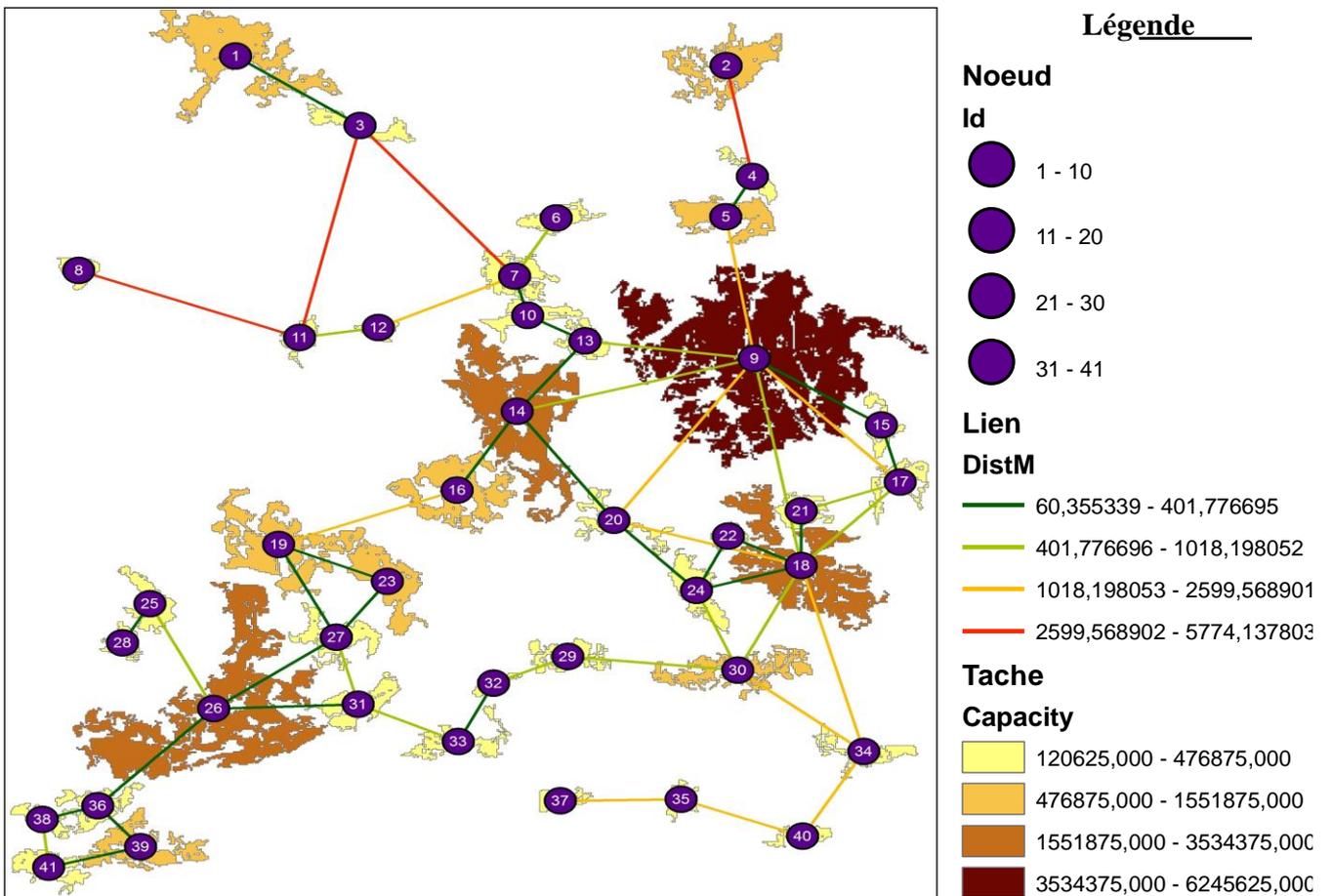
**Figure 2 :** Jackknife du gain d'apprentissage de l'Alouette lulu, représentant la contribution de chaque variable environnementale à la probabilité de présence de l'espèce.



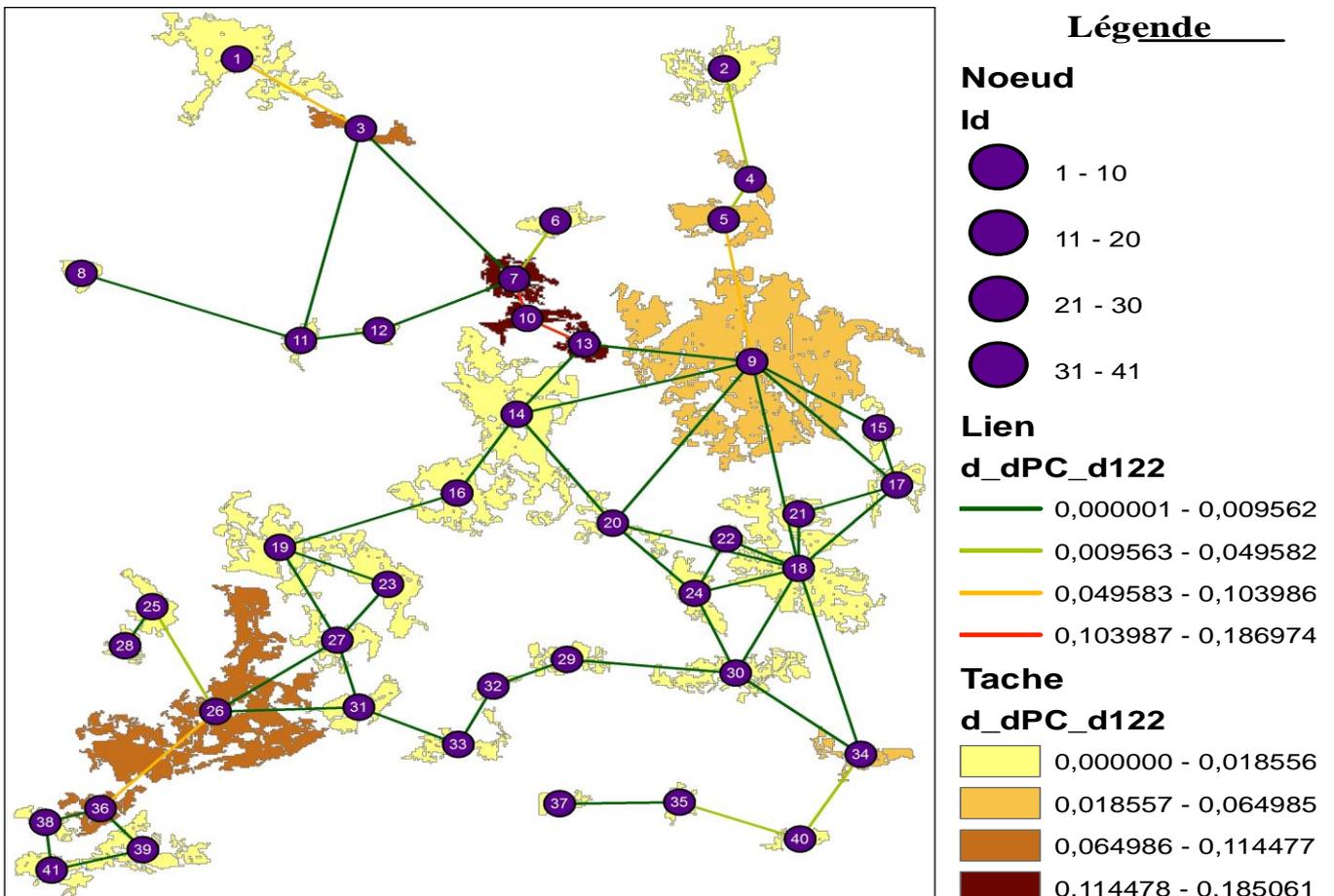
**Figure 3 :** histogramme des probabilités de présence de l'Alouette lulu, représentant la contribution de chaque composante de la variable landcover\_2 à cette probabilité.

Pour le graphe paysager, des habitats dont la surface minimale est de 12 hectares ont été sélectionnés, permettant de définir 41 tâches d'habitats. Deux représentations du graphe paysager ont été construites : la première représente les attributs des nœuds (capacité) et des liens entre les tâches (distance coût) (**Figure 4**) ; la seconde représentation permet de visualiser l'importance des liens et des tâches d'habitats pour la connectivité paysagère (**Figure 5**). Dans ces deux représentations tous les éléments ont été classés en quatre intervalles égaux.

La sélection des tâches d'habitats supérieurs à 12 hectares, constitue un paysage relativement fragmenté et discontinu (**Figure 4 et 5**). Ce résultat n'est pas surprenant du fait cette zone est connue pour avoir des milieux ouverts et semis ouverts fragmentés.



**Figure 4 :** Graphe paysager des attributs du paysage pour l'Alouette lulu. La couleur de représentation des liens (DistM) et des nœuds (Capacity) correspond respectivement à une distance de coût et à une qualité croissante.



**Figure 5 :** Graphe paysager de l'Alouette lulu représentant les éléments important pour la connectivité paysagère. Les liens et les taches sont classés selon leur part connecteur ( $d\_dPC\_d122 = dPC_{comm}$ ).

## IV. Discussion

### *Recherches bibliographiques*

Bien que notre modèle de graphe paysager concernant l'Alouette lulu semble robuste et réaliste (l'espèce fuit les milieux urbain et a besoin de milieux ouvert et semi-ouvert pour s'établir ce qui est décrit par le modèle, et celui-ci s'appuie sur le modèle de niche) il est important de porter un regard critique sur ces traits. En effet, bien que la dispersion soit un processus clé dans la dynamique des populations, celui-ci est peu compris (Pasinelli 2004). De plus ce trait comportemental semble influençable. Différents facteurs tel que le sexe, la période de dispersion, les propriétés de l'habitat ont montré une influence sur les capacités de dispersion (Pasinelli 2004, Paradis 1998). Il est donc important de considérer nos modèles et les données de capacité de dispersion comme étant une approche écologique et non une description réaliste du comportement exploratoire des milieux par les oiseaux. De plus il ne serait pas étonnant d'avoir des comportements de déplacement différents de ceux décrits dans certaines études issues de notre recherche bibliographique. En effet certaines références datent des années 1950, il faut alors considérer les changements paysagers qui ont pu se produire depuis et qui peuvent influencer les capacités de dispersion. Enfin la plupart des articles d'où nos données de domaine vital et de dispersion sont extraites, découlent d'études réalisées dans des milieux autres que méditerranéens, ou en dehors de la France (Angleterre, Espagne, Allemagne...) ce qui peut entraîner des erreurs de notre modèle par rapport à la réalité du terrain méditerranéen français étudié. Ces difficultés concernant la recherche bibliographique sont dues au fait que peu d'études récentes ont été menées sur la capacité de dispersion d'espèces communes comme celles présentes dans nos relevés.

### *Modélisation de la connectivité par les graphes paysagers*

L'étude des différentes représentations du graphe paysager, obtenu par l'étude des attributs des composantes du paysage et de leur importance pour la connectivité, permet d'analyser le paysage suivant des axes multiples. Premièrement il est possible de remarquer qu'il existe une ségrégation différente des tâches d'habitats lorsque celles-ci sont classées suivant leur qualité (surface de l'habitat traduisant la capacité d'accueil des individus), ou suivant leur importance pour la connectivité. Par exemples les tâches 7, 10 et 13 vont jouer un rôle majeur dans la connectivité paysagère sans pour autant être un habitat de bonne qualité au vu de leur taille. Ces tâches ont une part connecteur élevée du fait qu'ils relient d'autres tâches de qualité élevée (taches 9, 14) ou encore permettent de relier plusieurs tâches d'habitats au reste du réseau (taches 1, 3, 6, 8, 11, 12). Certaines tâches d'habitats ont une capacité d'accueil élevée et une importance significative pour la connectivité du réseau (taches 26 ou 9) car elles ont une grande surface et jouent le rôle de tâche relai dans le réseau. D'autres tâches ont seulement une capacité d'accueil importante mais peu d'importance pour la connectivité du réseau (taches 14, 18, 30) du fait qu'elles soutiennent des chemins de faible importance ou redondants (**Figure 4 et 5**).

Dans un second temps l'analyse des liens a permis de révéler que les liens avec un fort coût pour la dispersion relient souvent des habitats peu connectés et/ou de faible qualité (tâches 3, 6). Ainsi l'espèce doit investir beaucoup d'énergie pour se déplacer vers ces habitats qui ne constituent pas un milieu favorable et qui ne servent pas d'intermédiaire pour rejoindre des habitats plus favorables (**Figure 4**). Il est important de mentionner que certaines tâches (1, 2, 8) classées comme ayant peu d'importance dans la connectivité se trouvent en bordure de la zone d'étude. Cela implique que ces tâches supportent peut-être un nombre important de lien mais que l'analyse de connectivité n'a pu les prendre en compte car hors zone. Ces tâches auront donc un faible intérêt dans la connectivité paysagère. A l'inverse, les t ayant une part connecteur importante (liens reliant les tâches 7-10-13, 26-36, 5-9) traduisent des chemins de coût faible, et relient des habitats fortement interconnectés, de bonne qualité, et relient souvent des tâches d'habitat ayant une part importante dans la connectivité (**Figure 5**). En se replaçant du point de vue de l'écologie de l'espèce, certaines tâches et liens de qualité moindre sont le résultat du type d'environnement dans lequel ils se trouvent. En effet les tâches 8 et 11 se situent dans l'agglomération urbaine de Draguignan, or l'Alouette lulu tend à fuir ces environnements (**Annexe 1**)

### *Perspectives*

Certains compléments à intégrer aux graphes paysagers sont envisageables afin de les rendre plus prédictifs. Comme mentionné précédemment, la qualité des nœuds (capacity) a été assimilée à la surface des habitats car pour l'Alouette lulu ces deux paramètres étaient très corrélés. Or il serait plus judicieux, surtout dans le cas d'une étude multi-espèce, de calculer la qualité des tâches comme étant le produit de l'aire de l'habitat et de la probabilité d'occurrence moyenne de l'espèce dans cet habitat (Saura et Rubio 2010).

Une approche plus conservative concernant la sélection des tâches d'habitat peut être discutée. Dans notre modèle la sélection des habitats se fait selon la taille du domaine vital des espèces. Or il serait envisageable, après des études populationnelles, de conserver dans nos représentations uniquement les tâches d'habitats susceptibles d'héberger une population et non un seul individu ou couple. Cela reviendrait à définir la taille d'une population viable. La taille des habitats à conserver serait alors fonction de la répartition spatiale des individus (nombre d'individus par ha) et du nombre d'individus minimum que l'on veut maintenir.

Pour conclure, cette étude a montré que le couplage modélisation de l'habitat et analyse de la connectivité par les graphes paysagers permet d'établir des diagnostics utiles à la prise de décision concernant l'effort de conservation, tout en requérant un nombre raisonnable d'informations. Cette démarche peut en effet servir d'outil dans le cadre de l'établissement d'une Trame Bleue et Verte (TVB), en déterminant les zones prioritaires et les liens charnière afin de conserver la connectivité des habitats pour les espèces (Avon et Bergès, 2013).

## Références

- Avon, C., & Bergès, L. (2013). Outils pour l'analyse de la connectivité des habitats.
- Bowden, C. G. R. (1990). Selection of foraging habitats by woodlarks (*Lullula arborea*) nesting in pine plantations. *Journal of Applied Ecology*, 410-419.
- Bunn, A. G., Urban, D. L., & Keitt, T. H. (2000). Landscape connectivity: a conservation application of graph theory. *Journal of environmental management*, 59(4), 265-278.
- Burgman, M. A., & Fox, J. C. (2003). Bias in species range estimates from minimum convex polygons: implications for conservation and options for improved planning. *Animal Conservation*, 6(01), 19-28.
- Conway, G., Wotton, S., Henderson, I., Eaton, M., Drewitt, A., & Spencer, J. (2009). The status of breeding Woodlarks *Lullula arborea* in Britain in 2006. *Bird Study*, 56(3), 310-325.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, 487-515.
- Fahrig, L., & Merriam, G. (1985). Habitat patch connectivity and population survival. *Ecology*, 1762-1768.
- Fiches descriptives des espèces TVB-PACA. 2013. Synthèses relatives aux traits de vie des espèces animales de cohérence nationale TVB retenues en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Annexe 2 dossier d'enquête publique, Schéma de cohérence écologique, Région PACA.
- Foltête, J. C., Clauzel, C., & Vuidel, G. (2012). A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environmental Modelling & Software*, 38, 316-327.
- Liu, C., White, M., & Newell, G. (2013). Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography*, 40(4), 778-789.
- Olioso, G., Kabouche, B., Flitti, A., Kayser, Y. (2009), Atlas des oiseaux nicheurs De Provence-Alpes-Côte-D'azur. *Editions Delachaux et Niestlé*
- Paradis, E., Baillie, S. R., Sutherland, W. J., & Gregory, R. D. (1998). Patterns of natal and breeding dispersal in birds. *Journal of Animal Ecology*, 67(4), 518-536.
- Pasinelli, G., Schiegg, K., & Walters, J. R. (2004). Genetic and environmental influences on natal dispersal distance in a resident bird species. *The American Naturalist*, 164(5), 660-669.
- Saura, S., & Pascual-Hortal, L. (2007). A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning: comparison with existing indices and application to a case study. *Landscape and Urban Planning*, 83(2), 91-103.
- Saura, S., & Rubio, L. (2010). A common currency for the different ways in which patches and links can contribute to habitat availability and connectivity in the landscape. *Ecography*, 33(3), 523-537.
- Stevenson-Holt, C. D., Watts, K., Bellamy, C. C., Nevin, O. T., & Ramsey, A. D. (2014). Defining Landscape Resistance Values in Least-Cost Connectivity Models for the Invasive Grey Squirrel: A Comparison of Approaches Using Expert-Opinion and Habitat Suitability Modelling. *PLoS one*, 9(11), e112119.

Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 571-573.

Urban, D., & Keitt, T. (2001). Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. *Ecology*, 82(5), 1205-1218.

Zozaya, E. L., Brotons, L., & Saura, S. (2012). Recent fire history and connectivity patterns determine bird species distribution dynamics in landscapes dominated by land abandonment. *Landscape ecology*, 27(2), 171-184.



## Annexes

**Annexe 1** : Détermination de l'habitat préférentiel, favorable et défavorable de 23 espèces d'oiseaux (classées par ordre d'occurrence), sélectionnés pour l'étude de la connectivité paysagère et ayant fait l'objet d'une recherche bibliographique.

Nom latin	Nom français	Exigences	Milieux préférentiels	Milieux favorables	Milieux défavorables, ou à faible potentialité
<i>Sylvia atricapilla</i>	Fauvette à tête noire	boisements ouverts, généraliste	milieu arboré avec strate arbustive	valons, ripisylves, bois, haies, parc, jardin, campagne, périphéries voire dans les villes	un peu moins bouquets d'arbres, pins ou chênes vert des maquis
<i>Parus major</i>	Mésange charbonnière	boisements, lisières, arbres	vieux boisement peu dense	forêts élevées, feuillus, boisement de résineux, parc urbain, villages	def : vastes étendues dans les taillis de chêne vert, garrigues basses à romarin ou chênes kermès
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Rosignol philomèle	zones buissonnantes et arborées	milieux boisés ou arbustives, souvent près des cours d'eau et des zones habités	taillis sous-bois, garrigues, maquis, ripisylve, parfois jardins, ripisylves	-
<i>Turdus merula</i>	Merle noir	alternance milieux ouverts et fermés	habitat diversifié	pelouse, champs clairière, lisières forestières, milieux boisés, broussailleux et ripisylves	-
<i>Fringilla coelebs</i>	Pinson des arbres	boisements	milieux arborées, arbustifs	boisement jusqu'à la limite supérieure des forêts	plus aléatoire dans les cultures viticoles et maraîchères
<i>Pica pica</i>	Pie bavarde	zones urbaines	paysages ouverts avec haies et buissons	terres cultivées, prairies, périphéries et cœur des villes, villages	évite l'intérieur des massifs forestiers denses
<i>Apus apus</i>	Martinet noir	zones urbaines	villes villages, ruines		-
<i>Garrulus glandarius</i>	Geai des chênes	boisements	forêts	boisement de feuillus	-
<i>Columba palumbus</i>	Pigeon ramier	boisements	bosquets d'arbres dans un milieu ouvert	Forêts, clairières cultivée, parc, jardins urbains	-
<i>Certhia brachydactyla</i>	Grimpereau des jardins	boisements	tout type de formation forestière	bocages, ripisylve, parc urbain	-
<i>Erithacus rubecula</i>	Rougegorge familier	boisements	milieux frais, arborées	boisements, ripisylve, taillis méditerranéens, parc et jardin	-
<i>Streptopelia decaocto</i>	Tourterelle turque	zone urbaines, péri-agricoles	milieu comportant quelques arbres	villes, villages, exploitations agricoles, jardin privées, parc et jardin de villes, commence à s'installer hors des implantations humaines	-
<i>Carduelis carduelis</i>	Chardonneret élégant	zones urbaines, (péri) agricoles	milieux ouverts aux abords des cours d'eau	vergers, parc, jardins, zones agricoles bocagères, marais, villes villages, habitations, petits chemins, pâtures	-
<i>Sylvia melanocephala</i>	Fauvette mélanocéphale	alternance milieux ouverts et fermés	pelouse avec des peuplements arbustifs denses et quelques grands arbres	grandes zones de garrigues, parc urbains des grandes agglos, grand jardin (privée)	évite les forêts denses de grand arbre

<i>Oriolus oriolus</i>	<b>Loriot d'Europe</b>	boisements	milieux semis ouverts et boisement frais de feuillus	vallée fluviales, ripisylves, parc	massifs rocheux recouvert de garrigue basse, massifs de résineux, boisements denses.
<i>Serinus serinus</i>	<b>Serin cini</b>	zones urbaines	près des installations humaines, bois clairs, agriculture	jardins parcs, cimetières, vergers, oliveraies, clairières, maquis et broussailles, pinèdes et massifs de chênes verts, allées de cyprès.	-
<i>Picus viridis</i>	<b>Pic vert</b>	boisements et milieux ouverts	vieux arbres et étendues herbeuses	ripisylves, grandes haies, arbres isolés, parc, lisières de forêts, clairières	Un peu moins jardin. Zones rocheuses, trop bâties, absence d'arbres
<i>Cyanistes caeruleus</i>	<b>Mésange bleue</b>	boisements, lisières, arbres	boisements peu dense	proximité des habitations, zones agricoles, vallons boisés	un peu moins près des zones pavillonnaires. Forêts pures de conifères
<i>Passer domesticus</i>	<b>Moineau domestique</b>	zones urbaines	zones anthropiques	villes, villages, parc, fermes...	évite les forêts, les déserts et zones herbeuses.
<i>Corvus corone</i>	<b>Corneille noire</b>	milieux ouverts	combinaison de bois, bosquets, voire arbres isolés et cultures, ripisylves, parc urbains		milieux minéraux à faible couverture végétale (ex : Ste Victoire), au cœur des grands massifs forestiers (Maures)
<i>Hirundo rustica</i>	<b>Hirondelle rustique</b>	zones urbaines	proximité de zones humides, installation et activités humaine	fermes, prairies, haies, corps de ferme, villages, écuries en activité, centre urbain si espace vert	évite les régions trop arides
<i>Streptopelia turtur</i>	<b>Tourterelle des bois</b>	milieux ouverts, peu denses	zones agricoles, garrigues, boisement clair, ripisylves		évite les villes
<i>Lullula arborea</i>	<b>Alouette lulu</b>	milieux (semi)ouverts	pâturages maigres, garrigues ouvertes, landes buissonnantes	vignobles sur coteaux, zones incendiées, secteurs fortement pâturés	un peu moins plaines steppiques, terres agricoles récemment récoltées, ensemencées et les labours. Défavorable : zones agricoles intensives et/ou de culture maraîchère ou fruitière, formations forestières et zones urbanisées

forestiers stricts   boisements   boisements ouverts   milieux ouverts   anthropophiles   milieux diversifiés

**Annexe 2** : Détermination des domaines vitaux, territoires, des différentes capacités de dispersions, et des stratégies d'occupation de l'espace de 23 espèces d'oiseaux (classées par ordre d'occurrence), sélectionnées pour l'étude de la connectivité paysagère et pour lesquelles des recherches bibliographiques ont été menées.

Nom latin	Nom français	Nombre d'occurrence	Ratio / nb relevé	Distance dispersion Paradis 98 (natal) en km	Distance moyenne de dispersion	Capacité de dispersion	Domaine vital	Stratégie d'occupation de l'espace	Sites des études
<i>Sylvia atricapilla</i>	Fauvette à tête noire	81	69%	41,2	-	post-reproduction : 87% 25km autour du nid, 79% à plus de 25 km (parfois plus de 100 km) dispersion aléatoire (parfois mauvaise direction)	1,12 ha	migratrice partielle	Espagne Angleterre, Irlande
<i>Parus major</i>	Mésange charbonnière	73	62 %	5,3	femelles à la naissance : 879 m mâle à la naissance : 558 m adultes : 400 m	dispersion des nouveaux nés : 700-1100 m du lieu de naissance dispersion juvéniles FEMELLES : 643 ± 376 m dispersion juvéniles MALES : 498 ± 310m distances juvéniles max : 3000 m	1,4 ha (attention n=3)	sédentaires : peuvent entreprendre de courts mouvements de transhumance (reproduction) la région reçoit des individus originaires de Suisse, Pologne (mars avril)	Angleterre Pays bas Espagne
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Rossignol philomèle	71	60 %	x	-	Migration longue distance, puis très fidèle à son territoire de reproduction	0,6745 (1,948-0,128) ha	2 territoires différents : période de reproduction/ non reproduction	France, Italie, Bulgarie
<i>Turdus merula</i>	Merle noir	59	50 %	3,3	-	85,5 % des individus se dispersent à moins de 3 km du lieu de naissance vol courte distance	forêt : 0,2-0,5 ha ville : 0,1-0,3 ha jardins : 0,162 - 0,243 ha (min : 0,093 ha max 0,49 ha) en acre	-	Angleterre
<i>Fringilla coelebs</i>	Pinson des arbres	56	47 %	3,6	-	-	min-max : 0,1 - 1,2 ha moyenne : 0,67 ha	Sédentaire peu entreprendre des déplacements de courte distance (besoins alimentaires)	Angleterre
<i>Pica pica</i>	Pie bavarde	46	39 %	7,9	médiane mâles : 350 m autour du nid médiane femelle : 497,5 m autour du nid	max Angleterre : 86,9 km, max Finlande : 450 km, seulement 25% se dispersent à plus de 8,05 km nouveau née : 12% vont au-delà de 750 autour du nid dispersion juvéniles : jusqu'à 1,5 km	automne : 16,57 ± 7,78 ha/ hiver : 20,10 ± 8,89 ha : différence ns printemps : 7,54 ± 2,42 ha, été : 10,14 ± 8,64 ha : significatif	capacité de petit déplacement pour se regrouper en dortoirs après la période de reproduction	Angleterre
<i>Apus apus</i>	Martinet noir	41	35 %	36,8	-	migration automnale : 8629-12380 km migration printanière : 7946-10390 km	12 ha	migration saisonnière	Allemagne

<i>Garrulus glandarius</i>	Geai des chênes	40	0,34	3,5	-	dispersion des gland de chênes : < 250 m de l'arbre sources, parfois jusqu'à 1km dispersion max Angleterre : 4 individus retrouvées à + de 32 km	4.7 ± 2.5 ha dans zone d'étude de 4ha (plutôt homogènes) 35.9 ± 17.2 ha dans zone de 40 ha (milieu diversifié)	-	Espagne centre de l'Italie Angleterre
<i>Columba palumbus</i>	Pigeon ramier	37	31 %	10,7	-	4 individus ont migré à 96.6, 104.6, 120.7, et 193,1 km (en miles) au Yorkshire, un autre a migré dans l'Eire jusqu'à 515 km	-	la dispersion semble aléatoire plutôt qu'une vraie migration organisée Les oiseaux du nord et de l'est migrent vers les pays méditerranéens, la plupart sont sédentaires.	-
<i>Certhia brachyactyla</i>	Grimpereau des jardins	34	29 %	x	-	-	dispersion en hiver (max) : 10 ha	l'altitude limite la répartition des individus : max à 2000-2100	Allemagne de l'Ouest
<i>Erithacus rubecula</i>	Rougegorge familier	34	29 %	6	mean home range size : 0,43 ha	Dispersion hors saison de reproduction : 69-13,200 m2 / médiane : 543 : territoire défendu, et avertissement du territoire Dispersion hors saison de reproduction : 700-13,400 m2 / médiane : 3800 : territoire défendu, frontières communes et autres stratégies d'occupations	jardin et boisement : automne : 0,48 ha / saison reproduction : 1,49 ha parcs : automne : 0,21 ha / saison reproduction : 0,85 ha moyenne : automne : 0,36 ha / saison reproduction : 1,31 ha	femelle : bouge sur de courtes distances après la saison de reproduction, jusqu'à un territoire hivernal proche migrateur partiel	Ecosse centre de l'Europe (Allemagne)
<i>Streptopelia decaocto</i>	Tourterelle turque	34	29 %	9,3	-	-	-	invasive	-
<i>Carduelis carduelis</i>	Chardonneret élégant	31	26 %	11,1	-	-	-	-	-
<i>Sylvia melanocephala</i>	Fauvette mélanocéphale	31	26 %	x	-	-	0,88 ha (« territory size ») 2,23 ha (exploration des ressources autour du nid : "home range")	sédentaire	Espagne
<i>Oriolus oriolus</i>	Loriot d'Europe	28	24 %	x	-	-	-	migration tardive	
<i>Serinus serinus</i>	Serin cini	26	22 %	x	-	-	-	sédentaire	
<i>Picus viridis</i>	Pic vert	25	21 %	7,6	-	en général pas au-delà de 20 km	100 ha (moyenne) été : 28-183 ha (moyenne : 98 ± 25ha) / hiver 48-154 ha (moyenne : 102 ± 25 ha)	sédentaire strict et très territorial	Scandinavie

<i>Cyanistes caeruleus</i>	Mésange bleue	23	19 %	5,3	Dispersion natale femelle : 1356 m Dispersion natale mâles : 463 m Individus qui se sont reproduits : 237.26 ± 57.20 m Individus qui ne se sont pas reproduits : 299,60 ± 82,98 m	reproduction : tous les individus : vers le sud : 0,37 ± 0,20km / vers le nord : 0,24 ± 0,05 km : différence significative reproduction : femelles résidentes : vers le nord : 0,09 ± 0,008 km / vers le sud : 0,07 ± 0,004 km : différences	-	sédentaire	
<i>Passer domesticus</i>	Moineau domestique	23	19 %	1,7	-	-	-	sédentaire grande aptitude altitudinale, parfois mouvements automnaux : ex entre le Vaucluse et la Camargue	
<i>Corvus corone</i>	Corneille noire	20	17 %	9,9	-	max 115,8 km, en général pas au-dessus de 32,2 km saison reproduction : quand près des rivières vont s'approvisionner autour : 25 ± 4 ha	0.028–2.86 ha (SIP) saison reproduction : près des rivières : 9 ± 1 ha hors reproduction : 53 ± 3 ha	sédentaire	Belgique Ecosse
<i>Hirundo rustica</i>	Hirondelle rustique	20	17 %	14,1	-	-	-	migration	-
<i>Streptopelia turtur</i>	Tourterelle des bois	19	16 %	8,8	-	-	-	migration peu pénétrer (si bon ensoleillement) dans les départements alpins par les vallées alluviales, et le long des adrets	-
<i>Lullula arborea</i>	Alouette lulu	16	14%	x	Distance moyenne à partir du nid : 118 m (site de nourriture), 157 m pour d'autres activités modèle bruant ortolan : 12 km	dispersion max des adultes pour e nourrir : 400 m (généralement autour du nid : 25 m avant de revenir en arrière) mouvement (d'un territoire à l'autre) : entre 6 et 99 km, 48,9% des déplacements se font entre 6 et 21 km (déplacement moyen pondéré : 21,86 km) déplacement pondéré moyen sans les distances 25-99km : 11.139 km	rarement <3ha généralement < 10ha territoire 6 semaines avant nidification : 11,547ha (28,6 acres) = max pendant la nidification : 4,897 ha (12,1 acres) = min	sédentaire territorial	Angleterre Espagne

forestiers stricts   boiselements   boiselements ouverts   milieux ouverts   anthropophiles   milieux diversifiés

### Annexe 3 : Références bibliographiques issues des recherches écologiques des espèces

- Åkesson, S., Klaassen, R., Holmgren, J., Fox, J. W., & Hedenström, A. (2012). Migration routes and strategies in a highly aerial migrant, the Common Swift *Apus apus*, revealed by light-level geolocators. *PloS one*, 7(7), e41195.
- Andreu, J., & Barba, E. (2006). Breeding dispersal of Great Tits *Parus major* in a homogeneous habitat: effects of sex, age, and mating status. *ARDEA-WAGENINGEN*-, 94(1), 45.
- Ash, J. S., Ridley, M. W., & Ridley, N. (1956). On the movements and survival of Woodpigeons and Stock Doves. *Brit. Birds*, 49, 298-305.
- Bas, J. M., Pons, P., & Gómez, C. (2005). Home range and territory of the Sardinian Warbler *Sylvia melanocephala* in Mediterranean shrubland: Capsule Singing territories were well separated. *Bird Study*, 52(2), 137-144.
- Bowden, C. G. R. (1990). Selection of foraging habitats by woodlarks (*Lullula arborea*) nesting in pine plantations. *Journal of Applied Ecology*, 410-419.
- Chernetsov, N., & Mukhin, A. (2006). Spatial behavior of European Robins during migratory stopovers: a telemetry study. *The Wilson Journal of Ornithology*, 118(3), 364-373.
- Clergeau, P., & Burel, F. (1997). The role of spatio-temporal patch connectivity at the landscape level: an example in a bird distribution. *Landscape and Urban Planning*, 38(1), 37-43.
- Conway, G., Wotton, S., Henderson, I., Eaton, M., Drewitt, A., & Spencer, J. (2009). The status of breeding Woodlarks *Lullula arborea* in Britain in 2006. *Bird Study*, 56(3), 310-325.
- Dingemanse, N. J., Both, C., Van Noordwijk, A. J., Rutten, A. L., & Drent, P. J. (2003). Natal dispersal and personalities in great tits (*Parus major*). *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1516), 741-747.
- East, M. L., & Hofer, H. (1986). The use of radio-tracking for monitoring Great Tit *Parus major* behaviour: a pilot study. *Ibis*, 128(1), 103-114.
- Eden, S. F. (1987). Natal philopatry of the magpie *Pica pica*. *Ibis*, 129(s2), 477-490.
- Eden, S. F. (1989). The social organization of non-breeding Magpies *Pica pica*. *Ibis*, 131(1), 141-153.
- Fiches descriptives des espèces TVB-PACA. 2013. Synthèses relatives aux traits de vie des espèces animales de cohérence nationale TVB retenues en Provence-Alpes-Côte d'Azur, Annexe 2 dossier d'enquête publique, Schéma de cohérence écologique, Région PACA
- Gómez, J. M. (2003). Spatial patterns in long-distance dispersal of *Quercus ilex* acorns by jays in a heterogeneous landscape. *Ecography*, 26(5), 573-584.
- Greenwood, P. J., & Harvey, P. H. (1976). The adaptive significance of variation in breeding area fidelity of the blackbird (*Turdus merula* L.). *The Journal of Animal Ecology*, 887-898.

- Greenwood, P. J., Harvey, P. H., & Perrins, C. M. (1979). The role of dispersal in the great tit (*Parus major*): the causes, consequences and heritability of natal dispersal. *The Journal of Animal Ecology*, 123-142.
- Hahn, S., Amrhein, V., Zehtindijev, P., & Liechti, F. (2013). Strong migratory connectivity and seasonally shifting isotopic niches in geographically separated populations of a long-distance migrating songbird. *Oecologia*, 173(4), 1217-1225.
- Harrison, C. J. O., & Forster, J. (1959). Woodlark territories. *Bird study*, 6(2), 60-68.
- Harvey, P. H., Greenwood, P. J., & Perrins, C. M. (1979). Breeding area fidelity of Great Tits (*Parus major*). *The Journal of Animal Ecology*, 305-313.
- Holyoak, D. (1971). Movements and mortality of Corvidae. *Bird Study*, 18(2), 97-106.
- Johnstone, I. (1998). Territory structure of the Robin *Erithacus rubecula* outside the breeding season. *Ibis*, 140(2), 244-251.  
*Journal of Avian Biology*, 154-161.
- Langslow, D. R. (1979). Movements of Blackcaps ringed in Britain and Ireland. *Bird Study*, 26(4), 239-252.
- Marler, P. (1956). Behaviour of the chaffinch *Fringilla coelebs*. *Behaviour. Supplement*, III-184.
- Ortego, J., García-Navas, V., Ferrer, E. S., & Sanz, J. J. (2011). Genetic structure reflects natal dispersal movements at different spatial scales in the blue tit, *Cyanistes caeruleus*. *Animal Behaviour*, 82(1), 131-137.
- Parejo, D., White, J., Clobert, J., Dreiss, A., & Danchin, E. (2007). Blue tits use fledgling quantity and quality as public information in breeding site choice. *Ecology*, 88(9), 2373-2382.
- Pons, J. M., Oliosio, G., Cruaud, C., & Fuchs, J. (2011). Phylogeography of the Eurasian green woodpecker (*Picus viridis*). *Journal of biogeography*, 38(2), 311-325.
- Rolando, A., Cavallini, P., Cursano, B., & Olsen, A. (1995). Non-territorial behaviour and habitat selection in the Jay *Garrulus glandarius* in a Mediterranean coastal area during the reproductive period.
- Rolstad, J., Løken, B., & Rolstad, E. (2000). Habitat selection as a hierarchical spatial process: the green woodpecker at the northern edge of its distribution range. *Oecologia*, 124(1), 116-129.
- Snow, D. W. (1956). Territory in the blackbird *Turdus merula*. *Ibis*, 98(3), 438-447.
- Valcu, M., & Kempenaers, B. (2008). Causes and consequences of breeding dispersal and divorce in a blue tit, *Cyanistes caeruleus*, population. *Animal Behaviour*, 75(6), 1949-1963.

Vangestel, C., Braeckman, B. P., Matheve, H., & Lens, L. (2010). Constraints on home range behaviour affect nutritional condition in urban house sparrows (*Passer domesticus*). *Biological Journal of the Linnean Society*, *101*(1), 41-50.

Yom-Tov, Y. (1974). The effect of food and predation on breeding density and success, clutch size and laying date of the crow (*Corvus corone* L.). *The Journal of Animal Ecology*, 479-498.

Zozaya, E. L., Brotons, L., & Saura, S. (2012). Recent fire history and connectivity patterns determine bird species distribution dynamics in landscapes dominated by land abandonment. *Landscape ecology*, *27*(2), 171-184.

## Résumé

L'urbanisation et les activités humaines croissantes ont entraîné une rupture de la continuité paysagère. Cette fragmentation induit une diminution brusque des flux de gènes entre populations et métapopulations d'espèces animales et végétales, compromettant leur survie. Ces changements paysagers (perte d'habitats d'intérieur, isolation des taches d'habitats...) impliquent de développer des outils dans le cadre de l'établissement d'une Trame Bleue et Verte. Dans cette optique l'établissement de graphes paysagers intégrant l'écologie des espèces (capacité de dispersion et modèle de niche) et les caractéristiques du paysage, permettent de modéliser l'importance des taches et des liens dans la connectivité globale du réseau. Cette approche permet de mesurer la qualité des habitats propices à l'établissement des espèces et les chemins de moindre coût qui les relient. Ces constructions semblent robustes et nécessitent un apport d'informations moindre mais rares. Les graphes ainsi obtenus et leurs différentes représentations sont donc de bons outils d'aide à la gestion conservatoire, mais mériteraient d'être affinés par l'ajout d'information écologique sur les espèces, ce qui les rendrait plus prédictifs.