

Rapport de stage Master 2 Sciences de l'Univers, Ecologie, Evolution
Mention Ecologie, Biodiversité, Evolution
Spécialité biologie de la conservation
UPMC-UPS-APT-ENS-MNHN

Soutenance : 17 juin 2013

Influence des caractéristiques du
paysage sur les communautés de
papillons communs



Théophile OLIVIER



Stage du 1^{er} février au 10 juin
Laboratoires : UMR 7204 MNHN
EFNO IRSTEA

Encadrants : Benoit Fontaine (UMR 7204 MNHN)
Frédéric Archaux (EFNO IRSTEA)

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	3
INTRODUCTION	4
1. La fragmentation	4
2. Cadre de l'étude	6
3. Hypothèses	6
Matériel et méthodes	7
1. Données de l'Observatoire des Papillons de Jardin	7
Papillons.....	7
Jardins	8
2. Variables du paysage	9
Extraction.....	10
Cas des doublons	11
3. Données climatiques	11
4. Analyses statistiques	11
Opérations sur les variables du jardin.....	11
Opérations sur les variables du paysage	12
Modèles statistiques.....	12
RESULTATS	14
1. Abondance globale et diversité	14
2. Abondance selon les groupes fonctionnels	16
Territorialité.....	16
Régime alimentaire.....	17
Nombre de générations annuelles	18
DISCUSSION	21
1. Jardin	21
2. Habitats	21
Forêts / prairies	21
Urbanisation.....	22
3. Linéaires	23
4. Biais	23
5. Perspectives	24
BIBLIOGRAPHIE	26
ANNEXES	28
RESUME	29
ABSTRACT	29

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Benoit Fontaine et Frédéric Archaux pour m'avoir proposé ce sujet de stage où j'ai beaucoup appris, à la fois sur la méthode de travail utilisée pour cette étude, mais aussi sur le thème du stage qui pour moi était nouveau. Je voudrais également les remercier pour tous les conseils et l'aide qu'ils m'ont apporté tout au long de ce stage.

Je voudrais également remercier Anne, Gilles et Reto pour leur aide lors de l'extraction et la mise en forme de mes données, et pour m'avoir permis de me perfectionner dans la manipulation des SIG et des bases de données.

Enfin je voudrais remercier Denis Couvet pour m'avoir accueilli au sein du CERSP, et toutes les personnes que j'ai pu croiser lors de ce stage au CERSP, pour leur accueil, leur aide et leur gentillesse.

INTRODUCTION

1. La fragmentation

La notion de fragmentation du paysage englobe tout phénomène artificiel de morcellement de l'espace. Cette fragmentation entraîne une modification de la taille, de la forme et de l'isolement des différents types de patch présents. Elle induit également le remplacement d'éléments par d'autres. Par la diminution de la diversité et de la surface des habitats, notamment naturels, présents dans le paysage, ainsi que par la diminution de la connectivité entre les différents patches, la fragmentation du paysage est une des causes principales de l'érosion de la biodiversité (Barbault & Sastrapradja, 1995).

Des études ont ainsi montré l'impact de la fragmentation sur la biodiversité (Andren, 1994, Watson et al., 2005, Butet et al., 2010, Frey-Ehrenbold et al., 2013), et plus particulièrement sur les papillons (Krauss et al., 2003, a, b, Bergman et al, 2004, Flick et al, 2012). L'aire de l'habitat est globalement le prédicteur le plus important pour la structure des communautés de papillons tandis que l'isolement de ces patches ne semble jouer qu'un rôle secondaire (Krauss et al., 2003 a). Les taux d'extinction locale diminuent et les taux d'immigration augmentent lorsque la taille des patches d'habitat augmente (Krauss et al., 2003 b). Cependant, bien que la densité augmente avec l'aire des habitats pour les monophages, elle diminue pour les oligophages et polyphages (Steffan-Dewenter & Tschardtke, 2000). La théorie des métapopulations prédit que les densités de population diminuent lorsque l'aire des habitats diminue, à cause d'une plus faible immigration (Hanski, 1994). Dans ce cas, les auteurs proposent que la plus forte densité des oligophages et polyphages dans des petits patches soit due au fait que ces patches hébergent une plus forte diversité de plantes et soient ainsi plus attractifs.

L'agriculture et l'urbanisation sont des activités humaines entraînant une forte fragmentation et une homogénéisation du paysage. En effet, l'agriculture, par la mise en place de grandes surfaces de monocultures diminue la surface d'habitats naturels et altère leur qualité, en réduisant la diversité spécifique en plantes hôtes et/ou nectarifères, ressources des papillons. L'urbanisation réduit elle aussi les habitats naturels par l'artificialisation du sol, et crée des barrières physiques au déplacement des individus, notamment lors de la construction de routes. Le résultat est l'isolement de petits patches d'habitats favorables aux papillons au milieu de grandes étendues défavorables, limitant la surface disponible et les déplacements entre les différents habitats. Des études de l'effet de la structure du paysage en zone agricole

sur les communautés de papillons montrent une relation positive entre la diversité des papillons d'une part et la diversité et la densité d'habitats favorables d'autre part, et à l'inverse une relation négative entre l'abondance des papillons et la diversité des habitats (Flick et al., 2012). D'après Ekroos et al. (2010), ce sont les espèces spécialistes et les moins mobiles qui sont le plus affectées par l'homogénéisation du paysage, entraînant une homogénéisation des communautés. Ces effets semblent être plus forts à de petites échelles (de l'ordre de 200m de rayon autour du lieu d'observation d'après Flick et al., 2012), et s'estomper à large échelle (de l'ordre de 2-3 km d'après Marini et al., 2009) probablement en lien avec les capacités de déplacement des individus.

Les résultats montrent que les papillons réagissent différemment selon les espèces le long d'un gradient d'urbanisation (Bergerot et al., 2010), mais globalement l'abondance relative et la diversité sont liées négativement avec le degré d'artificialisation (Blair & Launer, 1995, Di Mauro et al., 2007).

L'isolement dû à la fragmentation entraîne une diminution de la connectivité entre les patchs et devrait donc baisser la probabilité que les individus puissent se déplacer d'un habitat à l'autre. L'effet de cet isolement et donc une faible connectivité inter-patchs n'est pas toujours mis en évidence dans les études (Krauss et al., 2003 a, b, Jonsen & Fahrig 1997), bien que certaines aient pu montrer un effet de l'isolement (Ricketts et al., 2001). Ces incohérences pourraient s'expliquer par le choix des échelles spatiales utilisées et de la méthode de calcul des indices de connectivité, qui sont calculés par rapport à la distance inter-patchs et à la surface des patchs, sans prendre en compte la nature du paysage reliant les patchs.

La trame verte et bleue (TVB) est la principale réponse politique en France pour inverser la part de l'érosion de la biodiversité due à la fragmentation. Elle vise à maintenir et restaurer un maillage écologique fonctionnel permettant les mouvements d'espèces au sein des paysages, mais le manque de connaissances sur le rôle et le fonctionnement des éléments paysagers qui permettent aux espèces de se maintenir dans un paysage questionne l'optimisation de ce maillage.

Cette étude s'inscrit dans le projet LEVANA (*Influence de l'organisation des paysages agricoles sur la distribution, la stabilité et la dispersion des papillons*) dans le cadre du programme DIVA 3 du ministère en charge de l'écologie sur les « continuités écologiques dans les territoires ruraux et leurs interfaces ». Ce projet propose d'approfondir les connaissances sur un groupe menacé par la fragmentation des milieux naturels et l'intensification des pratiques agricoles, les papillons de jour (Rhopalocères) et les Zygènes.

2. Cadre de l'étude

Les papillons de jour sont fréquemment retenus pour la définition des schémas régionaux des cohérences écologiques, dans le cadre de la TVB. En effet, ils constituent le groupe d'invertébrés le mieux connu, tant sur leur écologie que leur répartition, avec la mise en place de grandes bases de données telles que l'INPN ou des atlas. En particulier, l'Observatoire des Papillons des Jardins, lancé en 2006 par le Muséum national d'Histoire naturelle et Noé Conservation, regroupe aujourd'hui des millions de données collectées par des milliers d'observateurs répartis sur l'ensemble du territoire national.

Afin de tirer des conclusions générales sur l'importance de la composition et de la structure du paysage, il est nécessaire d'effectuer ces études sur un grand nombre d'organisations du paysage. Cette étude a pour but d'étudier l'impact des caractéristiques du paysage sur les communautés de papillons communs de France sur l'ensemble du territoire français. Cela implique de travailler sur un grand nombre de paysages contrastés en termes d'utilisation de l'espace (urbanisation, agriculture, milieux semi-naturels). La quantité de linéaires résultants de l'activité humaine (chemins, routes) a été utilisée comme proxy de l'isolement des différents patches du paysage, ces linéaires pouvant avoir soit un rôle de corridor écologique, soit un rôle de barrière, limitant le déplacement des papillons entre les différents habitats. L'influence du paysage a d'abord été testée sur la diversité et l'abondance globale des papillons. Puis les analyses ont été réalisées sur l'abondance des papillons selon trois groupes fonctionnels (spécialisation alimentaire des larves, territorialité et nombre de générations annuelles).

3. Hypothèses

Les hypothèses de travail découlaient d'études déjà réalisées sur les papillons :

- L'abondance en papillons est liée avec la surface en habitats semi-naturels (prairies, forêts, haies) et cette abondance augmente avec la surface en habitats semi-naturels autour du jardin (Bergman et al., 2004).
- La diversité en papillons est liée avec la diversité en habitats naturels, et cette diversité augmente avec la diversité en habitats naturels (Steffan-Dewenter & Tschardtke, 2000, Flick et al., 2012). Les jardins devraient avoir un impact positif, pouvant servir d'îlots d'habitats dans des zones défavorables aux papillons.

- L'abondance en papillons ne varie pas de la même façon selon des groupes fonctionnels (Steffan-Dewenter & Tschardtke, 2000, Ekroos et al., 2010). On s'attend notamment à ce que les migrateurs soient moins influencés par la structure du paysage que les non migrateurs, et pour les généralistes moins que les spécialistes. Enfin les espèces à faibles capacités de dispersion devraient être plus sensibles que les espèces à fortes capacités de dispersion.
- L'abondance et la diversité en papillons diminuent avec la surface urbanisée autour du jardin (Blair & Launer, 1997)
- Les linéaires présents dans le paysage ont un fort impact sur les papillons et peuvent servir de corridors pour certains (sentiers) et de barrières pour d'autres (routes, autoroutes). Ils sont un reflet de la connectivité entre les patches.

Afin de tester ces hypothèses, des modèles linéaires généralisés mixtes ont été utilisés pour prédire l'abondance et la diversité des papillons en fonction de la complexité du paysage.

Matériel et méthodes

1. Données de l'Observatoire des Papillons de Jardin

Papillons

Les données d'observations des papillons proviennent du programme de science participative « Observatoire des Papillons des Jardins » (OPJ, www.noeconservation.org), mis en place depuis 2006 par le programme Vigie Nature (UMR 7204 du Muséum National d'Histoire Naturelle et association Noé Conservation). Le protocole impose aux observateurs d'identifier les papillons présents dans leur jardin selon une liste prédéfinie de 28 espèces et groupes d'espèces (Tableau 1). Il n'y a pas de temps ni de fréquence d'observation imposés. Les participants renseignent une donnée mensuelle, correspondant au nombre maximum de papillons de la même espèce (ou groupe d'espèce) vus simultanément. Les données sont saisies sur le site <http://obj.mnhn.fr>. Outre le nombre d'individus, les observateurs indiquent les dates d'observations (mois et année), et pour chaque mois où des observations ont été faites la fréquence à laquelle ils ont été dans leur jardin (en moyenne une fois par jour, par semaine, ou par mois). L'abondance des papillons selon leur territorialité, leur nombre de générations annuelles et le régime alimentaire des larves a été calculée. Ces groupes fonctionnels ont été choisis à partir de Lafranchis (2000) et Dennis (1992).

Jardins

Des informations complémentaires sont également demandées telles que la superficie du jardin, l'utilisation ou non de traitements phytosanitaires, la présence d'éléments paysagers et de plantes dans le jardin (Annexe 1). Cependant aucune de ces informations complémentaires n'est obligatoirement renseignée. Enfin, pour l'analyse spatiale des données recueillies, il a été demandé aux observateurs de localiser géographiquement leur jardin à l'aide d'une application cartographique dédiée.

Tableau 1. Espèces de la liste prédéfinie et leurs groupes fonctionnels. Dans le cas de groupes d'espèces, les noms scientifiques de quelques genres ou espèces représentatifs sont précisés.

Espèces / groupes d'espèces	Genres ou espèces représentatives	Territorialité	Alimentation des larves	Nombre de générations annuelles
Amaryllis	<i>Pyronia</i> spp. (<i>Pyronia tithonus</i> (Linnaeus 1767))	Non territorial	Oligophage	1
Argus verts	<i>Callophrys rubi</i> (Linnaeus 1758)	Territorial	Généraliste	1
Aurores	<i>Anthocharis cardamines</i> (Linnaeus 1758)	Non territorial	Oligophage	1
Belle-dame: <i>Vanessa cardui</i> (Linnaeus 1758)		Migrateur	Généraliste	3
Brun des pélargoniums: <i>Cacyreus marshalli</i> Butler 1898		Non territorial	Spécialiste	3
Citrons	<i>Gonepteryx rhamni</i> (Linnaeus 1758)	Non territorial	Oligophage	1
Cuivrés	<i>Lycaena phlaeas</i> (Linnaeus 1761)	Territorial	Oligophage	3
Demi-deuils	<i>Melanargia galathea</i> (Linnaeus 1758)	Non territorial	Oligophage	1
Flambé: <i>Iphioides podalirius</i> (Linnaeus 1758)		Non territorial	Oligophage	2
Gazé: <i>Aporia crataegi</i> (Linnaeus, 1758)		Non territorial	Oligophage	1
Hespérides oranges	<i>Thymelicus</i> spp (Poda 1761), <i>Ochlodes venatus</i> , <i>Hesperia comma</i>	Non territorial	Oligophage	1
Hespérides tachetées	<i>Pyrgus malvae</i> (Linnaeus 1758), <i>Erynnis tages</i>	Non territorial	Généraliste	2
Lycènes bleus	<i>Polyommatus icarus</i> (Rottemburg 1775), <i>Celastrina argolius</i>	Non territorial	Oligophage	3
Machaon: <i>Papilio machaon</i> Linnaeus 1758		Non territorial	Oligophage	2
Mégères	<i>Lasiommata megera</i> (Linnaeus 1767)	Non territorial	Oligophage	2
Morosphinx: <i>Macroglossum stellatarum</i> (Linnaeus 1758)		Migrateur	Oligophage	2
Myrtil: <i>Maniola jurtina</i> (Linnaeus 1758)		Non territorial	Oligophage	1
Paon du jour: <i>Inachis io</i> (Linnaeus 1758)		Territorial	Spécialiste	1
Petite tortue : <i>Aglais urticae</i> (Linnaeus 1758)		Territorial	Spécialiste	3
Piérides blanches	<i>Pieris brassicae</i> (Linnaeus 1758), <i>Euchloe</i> spp	Migrateur	Oligophage	3
Procris: <i>Coenonympha pamphilus</i> (Linnaeus 1758)		Non territorial	Oligophage	3

Robert-le-diable: <i>Polygonia c-album</i> (Linnaeus 1758)		Territorial	Spécialiste	2
Silène: <i>Brintesia circe</i> (Fabricius 1775)		Non territorial	Oligophage	1
Soucis	<i>Colias croceus</i> (Fourcroy 1785)	Migrateur	Spécialiste	3
Sylvains	<i>Limenitis</i> spp. (<i>Limenitis reducta</i> , Staudinger 1901)	Territorial	Spécialiste	3
Tabac d'Espagne: <i>Argynnis paphia</i> (Linnaeus 1758)		Non territorial	Spécialiste	1
Tircis: <i>Pararge aegeria</i> (Linnaeus 1758)		Territorial	Oligophage	3
Vulcain: <i>Vanessa atalanta</i> (Linnaeus 1758)		Migrateur	Spécialiste	2

La mise en forme des données pour l'analyse statistique a été réalisée grâce au logiciel Microsoft Access 2003. Au final les variables papillons et jardins utilisées pour l'analyse de données sont :

- **Abondance des papillons** par espèce et toutes espèces confondues
- Nombre de taxons observés (**diversité**)
- Identifiant unique du jardin
- **Coordonnées géographiques des jardins**
- **Mois et année d'observation**
- **Fréquence d'observation** (par mois d'observation)
- **Aire du jardin** (voir annexe 2)
- **Présence d'éléments paysagers** (plantes, friches, bassins)

2. Variables du paysage

La surface de chaque type d'utilisation du sol ainsi que la distance de linéaires ont été extraits dans un rayon de 5 kilomètres autour de chaque jardin. Les variables paysagères ont été extraites à partir de trois bases de données géographiques, la BD TOPO de l'IGN (<http://professionnels.ign.fr/bdtopo>), comportant plusieurs couches SIG contenant des informations différentes (couches végétation arborée, eau, routes), le Registre Parcellaire Graphique ou RPG (Agence de services et de paiement, 2013) qui contient les surfaces cultivées déclarées par les agriculteurs à la PAC (Politique Agricole Commune) et le Soil Sealing (Agence Européenne de l'Environnement, 2010). Ces variables sont :

- la **surface en végétation arborée**, qui regroupe les forêts, bois, bosquets, haies ; de manière très ponctuelle cette couche intègre des vergers, des vignes et des landes (BD TOPO),
- la **surface en prairies**, friches et jachères (RPG),

- la **surface urbanisée** (constructions, surfaces bétonnées) (Soil Sealing),
- la **surface en eau**, qui correspond aux bassins de plus de 10m de long et 5m de large (excepté les piscines), ainsi que les surfaces d'eau non marines suivantes, « large canal », « étang », « large fleuve », « lac », « mare », « large rivière » (dénomination native de la BD TOPO),
- la **surface maritime** (intégrée pour que tous les buffers aient une surface totale égale) (BD TOPO),
- la **distance cumulée de linéaires**, regroupés en 3 classes selon l'effet attendu sur les papillons (Tableau 2) (BD TOPO).

Tableau 2. Linéaires présents dans le paysage selon l'effet attendu sur les communautés de papillons

Linéaires avec effet positif	Linéaires avec effet neutre	Linéaires avec effet négatif
Chemins	Routes à une chaussée	Routes à deux chaussées
Routes empierrées	Sentiers	Bretelles d'autoroute
	Pistes cyclables	Quasi-autoroute
	Escaliers	Autoroute

Ces variables ont été extraites à l'aide du logiciel ArcGIS.

La surface des grandes cultures n'a pas été prise en compte. L'hypothèse a été faite que la surface du buffer absente des variables du modèle correspond aux grandes cultures.

Extraction

Tous les patches de chaque type ont été extraits à l'aide de la fonction « intersect » d'ArcGIS, couche par couche et département par département dans des buffers de 5km de rayon centrés sur les jardins. Les données ont ensuite été importées dans une base de données créée et gérée via le logiciel PostgreSQL. Lors de cette importation, les données ont été regroupées sur une seule couche, par type de surface. La surface totale de chaque patch, ainsi que la longueur de chaque linéaire ont ensuite été calculées, par buffer, toujours avec PostgreSQL. Enfin, les données ont été regroupées par jardin, en sommant les surfaces et les distances selon les différentes couches.

Pour le Soil Sealing, qui est une couche raster contenant des pixels de 20m x 20m dont la valeur correspond à un degré d'artificialisation (de 0 à 102), une vectorisation a été nécessaire afin de pouvoir calculer des surfaces. Pour cette étude, tous les pixels contenant une valeur non nulle ont été considérés comme étant urbanisés. Les deux valeurs possibles étaient donc 0 ou 1, absence ou présence d'urbanisation.

Cas des doublons

Pour les couches végétation et RPG, un patch situé dans deux départements apparaît en entier pour chaque département. Ces doublons ont été supprimés avec le logiciel PostgreSQL. Pour la couche végétation, ces doublons ont pu être supprimés en sélectionnant les patches portant des identifiants différents. Pour la couche RPG, les coordonnées des centroïdes de chaque patch ont été calculées (arrondies au mètre), afin de repérer puis d'éliminer les doublons (polygones partageant le même centroïde).

3. Données climatiques

Le rôle des facteurs climatiques sur la diversité des papillons a déjà été montré (par exemple Menendez et al., 2007). Les jardins où les observations ont été faites recouvrant toute la France, il existe des gradients d'altitude, de températures ainsi que de précipitations qui peuvent donc avoir un effet et éventuellement masquer les effets du paysage s'ils ne sont pas intégrés dans le modèle comme des variables à part entières. Afin de tenir compte ces effets possibles, des données climatiques ont été extraits de la base de données World Clim (Hijmans et al., 2005). Pour chaque jardin l'altitude, les précipitations moyennes et la température la plus froide du mois le plus froid de l'année ont été relevées aux coordonnées géographiques du jardin. Les caractéristiques de ces variables sont présentées dans le Tableau 3.

Tableau 3. Caractéristiques des variables climatiques

Variable	Unité	Précision
Température	° Celsius x 10	1 km ²
Précipitations	Millimètres	1 km ²
Altitude	Mètres	1 km

4. Analyses statistiques

Opérations sur les variables du jardin

Deux indices reflétant la qualité du jardin ont été calculés à partir des renseignements fournis par les observateurs :

- un indice de naturalité, lié à la présence d'orties, de ronces, de lierre et de friche. 0 correspond à l'absence et 1 à la présence de l'élément, et l'indice est calculé comme la somme des éléments présents dans le jardin.

- un indice nectarifère. Cet indice d'offre en nectar est calculé comme la somme des notes nectarifères des plantes présentes dans le jardin quelle que soit leur abondance, selon une liste et le barème du Tableau 4. Ces valeurs sont extraites de l'étude de Bergerot et al. (2010), où les espèces de plantes ont été classées selon leur attractivité pour les papillons (nombre de photos de papillons se trouvant sur une espèce donnée prises au cours de l'année 2008), ajustées avec les résultats d'autres études (Royan & Roth, 1998, Tudor et al., 2004, Vickery, 2007).

Tableau 4. Plantes de l'indice nectarifère et leur coefficient

Eléments	Coefficient
Buddleia	3
Centaurées	3
Lavande	3
Lierre	3
Ronces	3
Valériane	2
Trèfle	2
Plantes aromatiques	2
Géranium	1

Opérations sur les variables du paysage

Les variables du paysage (surfaces de forêts, prairies, eau, urbanisation, mer, linéaires), ainsi que les coordonnées des jardins ont été centrées et standardisées avant de faire les analyses. Cela permet de rendre les effets plus facilement interprétables, et également de standardiser les pentes de régressions et ainsi obtenir des magnitudes comparables entre variables et études (Schlielzeth, 2010).

Modèles statistiques

Des modèles linéaires généralisés mixtes ont été utilisés pour mettre en évidence les relations entre les caractéristiques du paysage et la présence des papillons dans les jardins. Ces modèles permettent de réaliser une régression linéaire sur des variables qui ne sont pas distribuées normalement. Ici la distribution choisie est une distribution de Poisson, puisque les différentes variables à expliquer proviennent de comptages. La fonction de lien est un logarithme.

Le modèle s'écrit :

$$E(y) = g^{-1}(X\beta + Zu + \varepsilon)$$

Avec $E(y)$ la moyenne de la variable à expliquer, $X\beta$ les facteurs fixes, Zu le facteur aléatoire, ε l'erreur résiduelle et g^{-1} la fonction de lien correspondant au modèle linéaire généralisé.

Dans ce modèle l'autocorrélation spatiale a été modélisée par une interaction entre les coordonnées x et y . Pour tenir compte de la phénologie de vol des papillons et des fluctuations interannuelles des populations, une interaction entre l'année et le mois d'observation a été introduite dans les modèles. Enfin un effet quadratique de l'altitude a été rajouté à l'effet altitude. L'hypothèse que l'abondance et la diversité des papillons croît puis décroît avec l'altitude est probable. Les autres variables du jardin et du paysage sont entrées sans interaction dans le modèle. Le fait de ne pas mettre dans le modèle la variable correspondant à la surface en grandes cultures permet par ailleurs de rendre indépendantes les surfaces des variables du paysage. L'identifiant du jardin est considéré comme une variable aléatoire, pour prendre en compte la nature en mesures répétées du jeu de données (un même jardin est suivi plusieurs mois sur plusieurs années). Par ailleurs, le choix de ces jardins comme lieu d'observation peut être considéré comme le résultat d'un tirage aléatoire parmi toutes les zones d'observations possibles. Ce facteur a un effet sur la variance du modèle et non sur la moyenne, à la différence des facteurs fixes.

Les modèles ont été testés à l'aide du logiciel R (R Development Core Team, 2011). La librairie « lme4 » (Bates et al., 2013) permet d'utiliser la fonction `glmer`, fonction générant des modèles linéaires généralisés mixtes. Afin de simplifier le modèle, après chaque test d'un modèle la variable non significative avec la p-value la plus élevée est retirée, puis une anova est effectuée entre le modèle avec la variable et le modèle sans (sélection de variable descendante). L'anova compare les variances entre les deux modèles. Si la différence n'est pas significativement différente de 0, les deux modèles sont comparables (Crawley, 2009, page 635). Dans ce cas les AIC des deux modèles sont comparés. Si l'AIC du modèle ne comprenant pas la variable concernée est plus faible que l'AIC du modèle comprenant la variable, cette dernière est définitivement retirée. La méthode est renouvelée jusqu'à que toutes les variables présentes dans le modèle soient significatives, ou que l'élimination des variables non significatives entraîne une modification de la variance. L'homogénéité et l'homosédasticité des résidus ont été testés pour chaque modèle. Les graphes ont été réalisés grâce à la librairie « effects » (Fox, 2003).

RESULTATS

Au total 18 172 évènements d'observation provenant de 781 jardins ont été analysés. La répartition de l'abondance globale et de la diversité par jardin est présentée dans la figure 1.

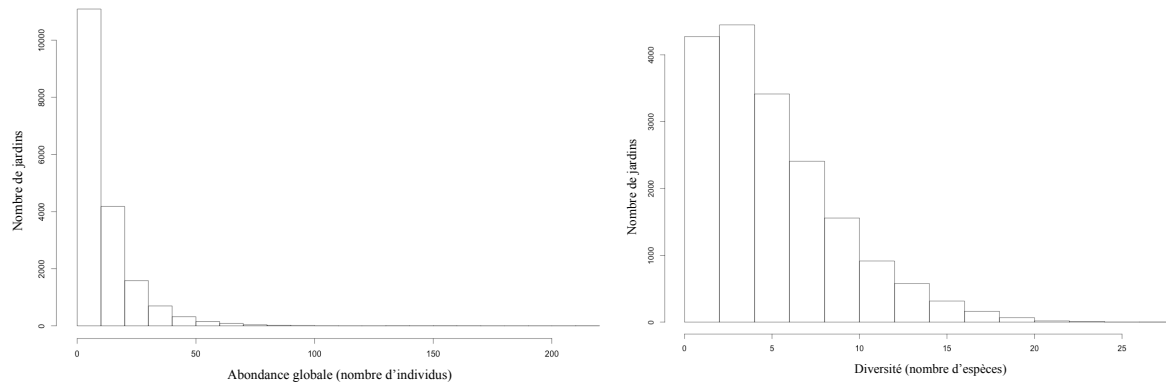


Fig.1 Nombre de jardins selon l'abondance globale et la diversité en papillons.

1. Abondance globale et diversité

Les modèles linéaires généralisés mixtes montrent que l'abondance et la diversité globales sont fortement influencées par les caractéristiques du jardin (aire du jardin, naturalité et indice nectarifère). Il y a une relation positive entre ces trois variables et l'abondance globale et la diversité (Fig.2 et Fig.3). A plus large échelle, l'abondance globale et la diversité des papillons est significativement et négativement corrélée à la quantité de linéaires supposés avoir un effet négatif (routes à deux chaussées, autoroutes) et à la quantité de linéaires supposés ne pas avoir d'influence (routes à une seule chaussée, sentiers, pistes cyclables, escaliers), avec la même magnitude que les linéaires défavorable (Fig.2 pour l'abondance). La surface de forêts est la seule variable surfacique qui montre un effet significatif, positif, sur la diversité (Fig.3). Les résultats sont présentés dans les Tableaux 5 et 6.

Tableau 5. Effet des variables du jardin et du paysage sur l'abondance globale en papillons. Les coefficients positifs des variables interprétées sont en vert et les coefficients négatifs en rouge.

Variable	Coefficient	Erreur standard	P-value
Aire du jardin	1.022e-04	7.390e-06	***
Naturalité du jardin	4.371e-02	4.199e-03	***
Indice nectarifère	1.850e-02	1.025e-03	***
Linéaires négatifs	-7.963e-02	3.064e-02	**
Linéaires neutres	-7.066e-02	3.020e-02	*

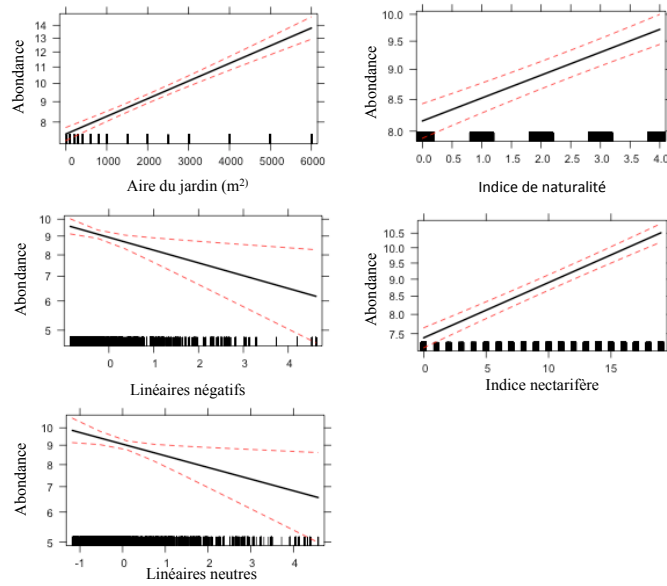


Fig.2 Représentation graphique de l'abondance globale en fonction des variables du jardin, des linéaires négatifs et des linéaires neutres. Les variables des linéaires sont centrées réduites.

Tableau 6. Effet des variables du jardin et du paysage sur la diversité en papillons. Les coefficients positifs des variables interprétées sont en vert et les coefficients négatifs en rouge.

Variable	Coefficient	Erreur standard	P-value
Aire du jardin	5.262e-05	7.737e-06	***
Naturalité du jardin	1.290e-02	5.729e-03	*
Indice nectarifère	1.822e-02	1.420e-03	***
Surface arborée	3.467e-02	1.681e-02	*
Linéaires négatifs	-7.152e-02	3.181e-02	*
Linéaires neutres	-6.248e-02	2.937e-02	*

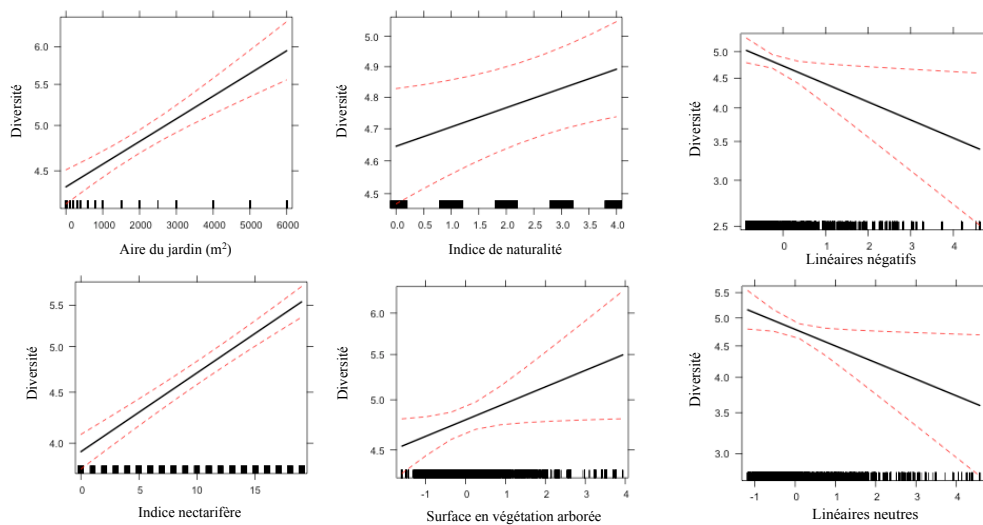


Fig.3 Représentation graphique de la diversité en fonction des variables du jardin et du paysage. La surface en végétation arborée est centrée réduite.

2. Abondance selon les groupes fonctionnels

Territorialité

Pour les trois groupes fonctionnels liés à la territorialité des espèces, les trois variables décrivant le jardin ont un effet positif sur l'abondance de ces espèces. L'aire du jardin est la variable dont l'effet est le moins fort. Pour les espèces territoriales et non territoriales, la variable du jardin la plus importante est l'indice de naturalité, tandis que pour les migratrices l'indice de naturalité et l'indice nectarifère ont une influence de magnitude équivalente.

Par ailleurs pour les espèces territoriales et non territoriales, il y a une corrélation négative entre l'abondance et la surface urbanisée. Les résultats montrent également une corrélation positive entre l'abondance des papillons non territoriaux et la surface de végétation arborée, alors que cette corrélation est négative pour les migrants. La corrélation entre la surface de végétation arborée et d'urbanisation est de -0.09.

Les linéaires ont des effets significatifs sur l'abondance des trois groupes fonctionnels. La quantité de linéaires négatifs est effectivement corrélée négativement à l'abondance des papillons territoriaux et non territoriaux. Les linéaires neutres ont un effet négatif sur les espèces migratrices. Les linéaires neutres et négatifs ont un effet négatif sur les espèces non territoriales. Les linéaires positifs ont également un effet négatif sur l'abondance des espèces territoriales. Les coefficients de corrélation concernant les linéaires positifs sont de -0.24 avec les linéaires négatifs et 0.26 avec les linéaires neutres. Les résultats sont présentés Tableau 7 et Figure 4.

Tableau 7. Effet des variables sur l'abondance des papillons selon les groupes fonctionnels concernant la territorialité. Les coefficients positifs des variables interprétées sont en vert et les coefficients négatifs en rouge.

	Non territoriales			Territoriales			Migratrices		
	Coef	Erreur standard	P-value	Coef	Erreur standard	P-value	Coef	Erreur standard	P-value
Aire	1.2e-04	7.8e-06	***	9.3e-05	8.3e-06	***	6.1e-05	7.8e-06	***
Naturalité	6.4e-02	6.4e-03	***	6.9e-02	8.1e-03	***	1.2e-02	6.2e-03	*
Indice nectarifère	1.8e-02	1.5e-03	***	1.6e-02	2.0e-03	***	1.9e-02	1.5e-03	***
Surface arborée	9.1e-02	1.6e-02	***	NS	NS	NS	-3.9e-02	1.5e-02	*
Surface urbanisée	-5.2e-02	2.1e-02	*	-3.9e-02	1.9e-02	*	NS	NS	NS
Surface eau	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-2.9e-02	1.4e-02	*
Linéaires positifs	NS	NS	NS	-5.5e-02	1.7e-02	**	NS	NS	NS
Linéaires neutres	-9.3e-02	3.3e-02	**	NS	NS	NS	-6.2e-02	2.9e-02	*
Linéaires négatifs	-1.3e-01	3.3e-02	***	-9.6e-02	2.2e-02	***			

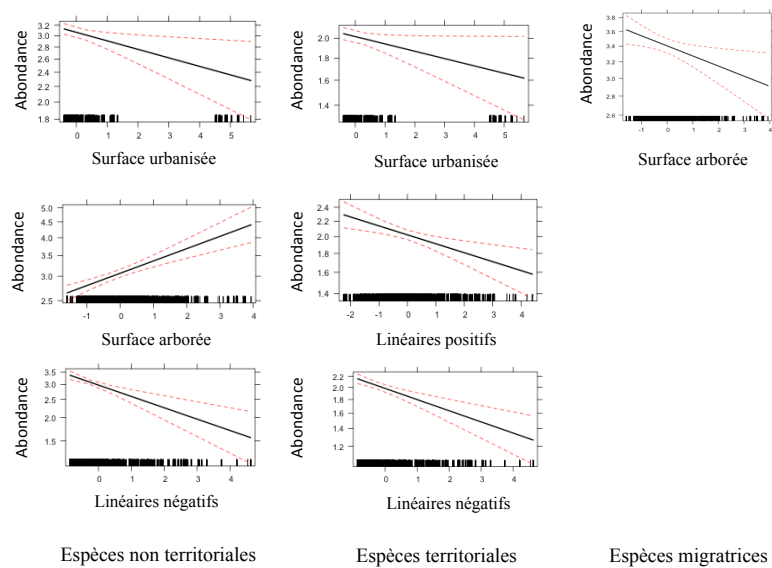


Fig.4 Représentation graphique de l'abondance selon la territorialité en fonction de variables du paysage centrées réduites.

Régime alimentaire

L'abondance des trois groupes fonctionnels est corrélée positivement avec l'aire et l'indice nectarifère, l'indice de naturalité du jardin est corrélé positivement avec l'abondance des spécialistes et des oligophages et négativement avec l'abondance des généralistes.

Seules les espèces généralistes et spécialistes montrent des relations avec des variables surfaciques du paysage. Les généralistes montrent une réponse négative à la surface urbanisée et la surface en prairie, et les spécialistes ont une relation négative avec la surface urbanisée. Le coefficient de corrélation entre ces deux variables est de 0.27. Les trois groupes fonctionnels sont affectés négativement par les différentes classes de linéaires. Les spécialistes sont affectés par les trois types de linéaires, tandis que les oligophages sont affectés que par les linéaires neutres et négatifs, et les généralistes par les linéaires positifs et négatifs. Les résultats sont présentés Tableau 8.

Tableau 8. Effet des linéaires sur l'abondance des papillons selon les groupes fonctionnels concernant l'alimentation. Les coefficients positifs des variables interprétées sont en vert et les coefficients négatifs en rouge.

	Généralistes			Oligophages			Spécialistes		
	Coef	Erreur standard	P-value	Coef	Erreur standard	P-value	Coef	Erreur standard	P-value
Aire	9.5e-05	1.1e-05	***	1.1e-04	7.5e-06	***	8.1e-05	8.2e-06	***
Naturalité	-5.1e-02	1.4e-02	***	5.4e-02	4.9e-03	***	3.1e-02	7.7e-03	***
Indice nectarifère	3.8e-02	3.7e-03	***	1.4e-02	1.2e-03	***	2.6e-02	1.9e-03	***
Surface urbanisée	-7.8e-02	2.7e-02	**	NS	NS	NS	-7.1e-02	2.2e-02	**
Surface de prairies	-5.1e-02	2.1e-02	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Surface eau	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-4.1e-02	1.5e-02	**
Surface mer	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-5.2e-02	1.7e-02	**
Linéaires positifs	-6.0e-02	2.1e-02	**	NS	NS	NS	-4.6e-02	1.7e-02	**
Linéaires neutres	NS	NS	NS	-6.5e-02	2.8e-02	*	-9.5e-02	3.4e-02	**
Linéaires négatifs	-1.5e-01	2.9e-02	***	-8.3e-02	3.1e-02	**	-7.8e-02	3.4e-02	*

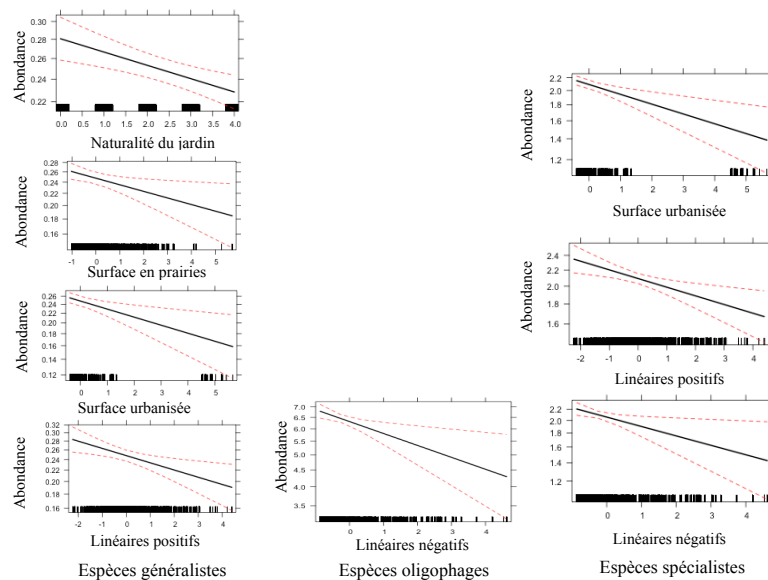


Fig.5 Représentation graphique de l'abondance selon le régime alimentaire en fonction de variables du paysage centrées réduites.

Nombre de générations annuelles

L'abondance des trois groupes est liée positivement à l'aire du jardin et à l'indice nectarifère, avec un effet plus fort de ce dernier. Seules les espèces monovoltines et trivoltines montrent une corrélation positive entre l'abondance en papillons et l'indice de naturalité du jardin. C'est la variable avec l'effet le plus fort pour ces deux groupes. Les espèces bivoltines ne montrent pas de corrélation significative avec l'indice de naturalité.

Il y a une relation positive entre la surface en végétation arborée et les espèces monovoltines, tandis qu'il y a une relation négative entre la végétation arborée et les espèces trivoltines. Seules les espèces bivoltines montrent un effet significatif négatif de la surface urbanisée.

Les linéaires neutres ont un effet négatif sur les espèces mono- et bivoltines, les linéaires négatifs ont un effet négatif sur les espèces mono- et trivoltines. Les effets des linéaires ont des magnitudes similaires selon leur type, et plus fortes que les effets des surfaces arborée et urbanisées (Tableau 9, Fig 6).

Tableau 9. Effet des variables surfaciques du paysage sur l'abondance des papillons selon les groupes fonctionnels concernant le nombre de générations annuelles. Les coefficients positifs des variables interprétées sont en vert et les coefficients négatifs en rouge.

Variable	Une génération annuelle			Deux générations annuelles			Trois générations annuelles		
	Coef	Erreur standard	P-value	Coef	Erreur standard	P-value	Coef	Erreur standard	P-value
Aire du jardin	1.1e-04	8.1e-06	***	6.5e-05	8.2e-06	***	9.4e-05	7.7e-06	***
Naturalité	5.1e-02	7.1e-03	***	NS	NS	NS	4.9e-02	5.7e-03	***
Indice nectarifère	2.3e-02	1.7e-03	***	3.4e-02	1.44e-03	***	1.1e-02	1.4e-03	***
Surface arborée	1.1e-01	1.6e-02	***	NS	NS	NS	-3.9e-02	1.6e-02	*
Surface urbanisée	NS	NS	NS	-8.5e-02	2.3e-02	***	NS	NS	NS
Surface en eau	3.2e-02	1.4e-02	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Surface en mer	-4.1e-02	1.6e-02	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Linéaires négatifs	-1.7e-01	3.4e-02	***	NS	NS	NS	-7.9e-02	1.55e-02	***
Linéaires neutres	-1.2e-01	3.3e-02	***	-1.3e-01	2.2e-02	***	NS	NS	NS

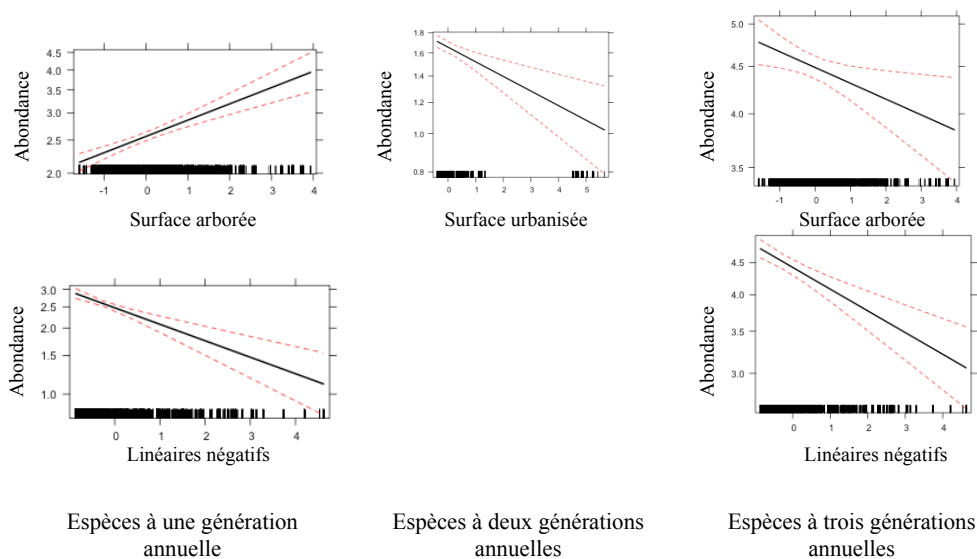


Fig.6 Représentation graphique de l'abondance selon le voltinisme en fonction de variables du paysage centrées réduites.

Tableau 10. Tableau récapitulatif des modèles linéaires généralisés espèce par espèce. Un + signifie un effet positif de la variable sur l'abondance de l'espèce, et un - un effet négatif. Le nombre de signe montre le degré de significativité de l'effet.

Variables	Abondance	Diversité	Non territoriaux	Territoriaux	Migrateurs	Monovoltines	Bivoltines	Trivoltines	Généralistes	Oligophages	Spécialistes	Tortue	Gaze	Tabac	Brun	Tircis	Procris	Paon	Flambé	
X*Y	--		---	+++				-	+++	---	++	+++	+++	-		---		+++	---	
X					+	+++			+++							---		+		
Y						+++										---		---		
T min						+++	+++									---		---		
Précipitations				-			-					+++		++		---		+++	---	
Aire	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	---	+++	+++	+++	+++
Naturel	+++	+	+++	+++	+	+++		+++	---	+++	+++	-	+++	+++		---	+++	---	---	
Nectar	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	---	---	---	+++	+++
Altitude	+	++	+++	+		+++				+	++	+++	+++	+++	---	---		+++	---	
Altitude*2	---	---	---	-		---		---		---	-	---	---	---	+++	---	---	---	---	
Forêts		+	+++		-	+++		-					+++	+++		---	---	---	+++	
Prairies									-			+	+++		---		+++	+	---	
Eau						+					---	---	-	-	---		---	---	---	
Mer						-					---	---	+++					---	---	
Urbain			-	-			---		---		---			++		---		---	---	
Linéaires positifs				---	---				---		---						---		---	
Linéaires neutres	-	-	---		-	---	---		---	-	---	---	+++	---	++	+++		-	---	
Linéaires négatifs	---	-	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Variables	Morphinx	Myrtil	Machaon	Robert	Vulcain	Belle-dame	Lycènes	Citron	Argus vert	Sylvain	Demi-deuil	Hespérides orangées	Cuivre	Aurore	Amaryllis	Hespérides tachetées	Mégère	Piérides	Souci	Silène
X*Y	+	---	---	+++					---		---		---	---	---		---			
X					+++	++	++			+++			+				+++		+++	-
Y					+++	+++	---	+++		---		+++					---		---	---
T min	---			+++	+++	+		+++	---		---	+++	---					+	++	---
Précipitations	-	+++		---				+++			---	++	+++	---				---	---	
Aire	-	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Naturel	---	+++	-	+++	+++	---	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++	---			+++	---
Nectar	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Altitude	---	+++		+++	-			+++		---	+++	+++		+++	+++				---	---
Altitude*2	---	---	---	---		---		---		-	---	---	---	---	---	---			---	
Forêts		++				---		+++	+++	+++	+++			+++		+++		---	+++	+++
Prairies			++		+++		---				---		++						++	
Eau	---	+	+++		-		++		-	-	+++	+++			+++			+++	-	
Mer			++	---			+++			+++			+	---	-		+++		---	
Urbain	---	---	---	---	---	---				---	---		+			+			---	
Linéaires positifs		---	---	---	---		+	+++					++		---	---			---	
Linéaires neutres	---				---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Linéaires négatifs		---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	

DISCUSSION

Les résultats de cette étude montrent deux niveaux d'impact du paysage sur les communautés de papillons, une très locale (le jardin), mais aussi un rôle de la structure du paysage à large échelle.

1. Jardin

Les variables analysées (abondance globale, diversité, abondances par groupes fonctionnels et par espèce et groupe d'espèces) ont montré en majorité des corrélations significatives positives avec l'aire du jardin, son indice de naturalité ainsi que son indice nectarifère. L'abondance globale et la diversité augmentent avec ces trois indices. Les indices nectarifère et de naturalité ont des impacts plus forts que l'aire du jardin, ce qui suggère un effet plus important de la qualité de l'habitat dans le jardin que de sa taille. Un jardin avec un indice de naturalité élevé doit en effet subir moins d'entretien et de traitements pouvant être néfastes pour les papillons. Un fort indice nectarifère est synonyme de la présence d'une importante diversité de plantes ressources pour les papillons, et peut ainsi attirer une plus grande diversité d'espèces et une plus grande abondance de papillons.

Cependant certaines espèces et groupes fonctionnels (espèces bivoltines, espèces généralistes) n'ont soit pas montré l'effet attendu avec une ou plusieurs de ces variables du jardin, soit montré aucun effet. Cela peut être dû à un nombre insuffisant d'observations de ces espèces, soit à d'autres facteurs ayant un effet local mais n'étant pas dans le modèle. Ainsi un jardin à proximité de celui où les observations ont lieu pourrait avoir un effet négatif sur la présence des papillons qui annulerait ou contrebalancerait l'effet positif du jardin d'observation. Les traitements phytosanitaires sur le jardin peuvent aussi avoir un impact négatif sur la présence des papillons, mais n'ont pas été pris en compte dans cette étude du fait du manque de données sur plusieurs années de relevés.

2. Habitats

Forêts / prairies

La diversité globale augmente avec la surface en végétation arborée, comme vu par Bergman et al. (2004) à une échelle de 5km également. Ce résultat se retrouve pour les espèces non territoriales. Cet effet peut s'expliquer par une plus grande disponibilité en habitats pour des espèces à capacité de dispersion plus faible. L'effet négatif sur les espèces migratrices peut

s'expliquer par une stratégie d'évitement, les zones arborées agissant comme des barrières où les plantes hôtes et nectarifères nécessaires ne seraient pas présentes. Pour le voltinisme, les résultats sont difficiles à expliquer, mais les tendances du groupe pourraient être fortement influencées par peu d'espèces représentant un grand nombre de données dans les échantillons, remettant en question le caractère générique du groupe. L'impact positif sur les espèces monovoltines pourrait être dû aux Myrtils, qui privilégient les lisières forestières, et qui montrent également une relation positive avec la surface en végétation arborée dans l'analyse statistique au niveau spécifique. De même l'impact négatif de la surface arborée des espèces trivoltines pourrait s'expliquer par la présence dans ce groupe des Piérides, de la Belle-dame et du Tircis, qui évitent les milieux forestiers (résultat de l'analyse par espèce). Cependant un lien entre habitat et types de ressources (Cizek et al., 2006) ou disponibilité des ressources (Slansky, 1974) au cours de l'année pourrait expliquer ces effets.

L'impact négatif de la surface en prairie sur l'abondance des espèces généralistes est en adéquation avec Steffan-Dewenter & Tschardt (2000), qui ont montré que la densité en espèces polyphages et oligophages étaient négativement corrélée à la quantité de prairies.

Cela pourrait s'expliquer par une saturation des patchs de prairies par les généralistes qui provoquerait un déplacement d'individus dans les jardins. Les prairies étant des milieux préférés par les papillons, l'augmentation de la surface en prairies provoquerait à son tour le retour d'individus dans ces habitats naturels, et donc une diminution des individus dans le jardin. L'absence d'effet positif des prairies sur la diversité globale et les abondances est par contre inattendu et en désaccord avec Krauss et al., (2003). Ces résultats peuvent être dus aux données géographiques utilisées concernant la surface en prairies.

Urbanisation

L'effet de l'urbanisation sur l'abondance et la diversité des papillons est manifeste à l'échelle des groupes fonctionnels, mais pas au niveau global, toutes espèces confondues. Dans chaque cas, l'effet de l'urbanisation est négatif, ce qui va dans le sens de Blair & Launer (1995). Cet impact négatif s'explique par la disparition des habitats et le manque de ressources causés par l'urbanisation. Intégrer des zones d'habitats naturels au sein de ces zones urbanisées pourrait diminuer l'impact négatif de ces dernières. L'abondance des espèces non migratrices (territoriales et non territoriales) diminue avec la surface urbanisée. La capacité de dispersion des espèces migratrices peut expliquer l'absence d'effet de l'urbanisation sur ces espèces, ces dernières pouvant se déplacer plus loin pour trouver des ressources ou des habitats. Les effets de l'urbanisation selon le régime des larves semblent également dus à certaines espèces, et ne

pas refléter de caractéristique du groupe (seulement la Belle-dame montre un effet négatif au sein des généralistes, et 3 espèces sur 8 au sein des spécialistes).

3. Linéaires

Les analyses indiquent un fort effet des routes et chemins sur l'abondance et la diversité des papillons, aussi bien à l'échelle globale qu'à l'échelle des espèces. Cependant les résultats ne sont pas tous ceux attendus. Aucun modèle ne montre d'effet positif des linéaires supposés positifs (sentiers, routes empierrées). Au contraire même, lorsque la variable est retenue dans les modèles, il s'avère que l'effet est négatif. Les linéaires neutres apparaissent négatifs pour la diversité et l'abondance globale, les espèces à mono- et bivoltines, les oligophages et les spécialistes, les non territoriaux et les migrants. Cependant la forte corrélation entre les linéaires neutres et négatifs (coefficient de corrélation de Spearman $r = 0.87$) peut expliquer cet effet significatif des linéaires neutres. Néanmoins ces résultats montrent l'impact sur la connectivité des linéaires présents dans le paysage. Les linéaires semblent plus agir comme des barrières pour les papillons que de corridors écologiques permettant le déplacement d'un habitat à l'autre. Le trafic routier, et dans une moindre mesure le goudronnage du sol sont responsables de cet effet barrière (Forman & Alexander, 2008).

4. Biais

Cette étude a mis en valeur des effets significatifs de la présence et de la quantité des éléments paysagers sur l'abondance et la diversité des papillons. L'absence d'effets significatifs plus importants, peut être dû à plusieurs facteurs liés aux données cartographiques utilisées lors de l'étude. Concernant la surface en prairies, la source des données basée sur les déclarations des agriculteurs pour recevoir des aides financières européennes ne permet pas d'avoir une description exhaustive de toutes les prairies présentes dans le paysage. En outre, il existe un fort biais régional (notamment en lien avec la culture prépondérante, qui fait ou non l'objet de subventions PAC). Une solution pourrait être d'estimer la surface agricole utile (SAU) dans chaque buffer et comparer la surface renseignée par le RPG à cette SAU, puis éliminer les jardins pour lesquels le pourcentage de la SAU renseignée par le RPG est inférieur à un seuil prédéfini. Dans le cas de l'urbanisation, la création de classes selon l'intensité de l'urbanisation du sol pourrait permettre de faire les analyses sur un gradient d'urbanisation différent. A surface d'artificialisation fixée, il est probable que les papillons réagissent également au type d'urbanisation, en particulier en fonction de l'importance des zones vertes comme les jardins, les parcs. La position du jardin

par rapport à la couche urbanisée pourrait également être informative, l'effet d'une même surface totale urbanisée pouvant ne pas avoir les mêmes effets selon que le jardin se situe en plein milieu ou en périphérie de cette zone.

Pour les linéaires, une forte corrélation positive existe entre les linéaires neutres et les linéaires négatifs. La présence des linéaires négatifs comme les autoroutes peut en effet demander également la présence de voies plus petites (accès aux autoroutes, sorties, etc) d'où cette corrélation. L'effet négatif des linéaires négatifs paraît probable, celui des linéaires neutres peut quant à lui n'être qu'un effet redondant des linéaires négatifs. Il pourrait être pertinent d'envisager d'autres regroupements de linéaires que ceux que nous avons faits, ce qui pourrait permettre de mettre en évidence un éventuel effet positif de certains linéaires qui serviraient de corridors. En plus de la présence des linéaires, rajouter un indice de connectivité entre les patches d'habitats calculé selon la distance inter-patches et la surface des patches, mais en prenant également en compte ce qui se trouve entre les patches, pourrait donner des résultats complémentaires de ceux donnés par les linéaires, en terme d'isolement via la distance par exemple.

Enfin la grande taille des buffers peut être à l'origine d'une certaine homogénéisation du paysage environnant, diminuant son pouvoir explicatif.

5. Perspectives

Ces résultats confirment ceux montrés par de précédentes études (Steffan-Dewenter & Tschardtke, 2000, Bergman et al. 2004, Flick et al., 2012). L'originalité de cette étude est qu'il n'a pas été pris en compte qu'un seul gradient d'urbanisation, d'agriculture ou de type d'habitat, mais un descriptif le plus complet possible du paysage environnant les sites d'observations, et cela avec un gradient important de chacune des variables du paysage permis par la science participative et son important réseau d'observateurs. De plus, un effet de l'isolement, via la présence de linéaires dans le paysage, a pu être mis en évidence.

Il a d'abord été choisi de considérer la structure et la composition paysagère dans un rayon de 5km, le but étant par la suite de faire les mêmes analyses à des échelles inférieures. En effet, certaines études n'ont montré un effet du paysage qu'à des larges échelles autour des sites d'observations (Bergman et al., 2004), tandis que d'autres n'ont eu des résultats significatifs qu'à petite échelle, de l'ordre de 200m autour des sites d'observation (Flick et al., 2012). Des analyses complémentaires à d'autres échelles plus petites (de 100m à 3000m) devraient donc permettre de préciser ces effets, et de mettre en évidence d'autres effets qui peuvent avoir un impact plus localement.

Néanmoins, les résultats montrent que des actions à une échelle locale (les jardins) pourraient avoir un impact à l'échelle du paysage. Une sensibilisation du public à des « bonnes pratiques », comme laisser une part de naturalité dans le jardin, planter certains types de plantes et ne pas traiter le jardin avec des produits phytosanitaires pourrait permettre de créer des îlots d'habitats favorables dispersés dans le paysage mais néanmoins assez proches pour créer des zones de relais pour la biodiversité et ainsi la maintenir là où l'activité a fragmenté et détruits ses habitats naturels.

BIBLIOGRAPHIE

Agence Européenne de l'Environnement. "European Soil Sealing V2." 2010.

Andren, H. "Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscapes with different proportions of suitable habitat : a review." *Oikos* 71 (1994): 355-366.

Barbault, R., and S. Sastrapradja. *Generation, maintenance and loss of biodiversity*. Heywood, V. H., 1995.

Bates, D., M. Maechler, and B. Bolker. *lme4 : linear mixed-effects models using Eigen and Eigenfaces*. 2013. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>.

Bergerot, B., B. Fontaine, M. Renard, A. Cadi, and R. Julliard. "Preferences for exotic flowers do not promote urban life in butterflies." *Landscape and Urban Planning* 92 (2010): 98-107.

Bergerot, B., B. Fontaine, R. Julliard, and M. Baguette. "Landscape variables impact the structure and composition of butterfly assemblages along an urbanization gradient." *Landscape Ecology* 26 (2010): 83-94.

Bergman, K.-O., J. Askling, O. Ekberg, H. Ignell, H. Wahlman, and P. Milberg. "Landscape Effects on Butterfly Assemblages in an Agricultural Region." *Ecography* 27 (2004): 619-628.

Blair, R. B., and A. E. Launer. "Butterfly diversity and human land use : species assemblages along an urban gradient." *Biological Conservation* 80 (1997): 113-125.

Butet, A., N. Michela, Y. Rantiera, V. Comora, L. Hubert-Moyb, J. Nabucetb and Y. Delettre. " Responses of common buzzard (*Buteo buteo*) and Eurasian kestrel (*Falco tinnunculus*) to land use changes in agricultural landscapes of Western France." *Agriculture, Ecosystem and Environment* 138 (2010): 152-159.

Cizek, L., Z. Fric, and M. Konvicka. "Host plant defences and voltinism in European butterflies." *Ecological Entomology* 31 (2006): 337-344.

Crawley, M. J. *The R Book*. Wiley, 2009. 942 pp.

Dennis, R.L.H. *The ecology of butterflies in Britain*. Oxford University Press edition, 1992. 368 pp.

Di Mauro, D., T. Dietz, and L. Rockwood. "Determining the effect of urbanization on generalist butterfly species diversity in butterfly gardens." *Urban Ecosystem* 10 (2007): 427-439.

Ekroos, J., J Heliola, and M. Kuussaari. "Homogenization of lepidopteran communities in intensively cultivated agricultural landscapes." *Journal of Applied Ecology* 47 (2010): 459-467.

Flick, T., S. Feagan, and L. Fahrig. "Effects of landscape structure on butterfly species richness and abundance in agricultural landscapes in eastern Ontario, Canada." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 156 (2012): 123-133.

Forman, R. T. T., and L. E. Alexander. "Roads and their major ecological effects." *Annual Review of Ecology and Systematics* 29 (1998): 207-231.

Fox J. and J. Hong. "Effect Displays in R for Multinomial and Proportional-Odds Logit Models: Extensions to the effects Package." *Journal of Statistical Software*. 32(2009): 1-24.

Frey-Ehrenbold, A., F. Bontadina, R. Arlettaz, and M. K. Obrist. "Landscape connectivity, habitat structure and activity of bat guilds in farmland-dominated matrices ." *Journal of Applied Ecology* 50 (2013): 252-261.

Hanski, I. "Patch-occupancy dynamics in fragmented landscapes." *Trends in Ecology and Evolution* 9 (1994): 131-135.

- Hijmans, R.J., S.E. Cameron, J.L. Parra, P.G. Jones, and A. Jarvis. "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas." *International Journal of Climatology* 25 (2005): 1965-1978.
- Jonsen, I. D., and L. Fahrig. "Response of generalist and specialist insect herbivores to landscape spatial structure ." *Landscape Ecology* 12 (1997): 185-197.
- Krauss, J., I. Steffan-Dewenter, and T. Tscharntke. "How does landscape context contribute to effects of habitat fragmentation on diversity and population density of butterfly ?" *Journal of Biogeography* 30 (2003 a): 889-900.
- Krauss, J., I. Steffan-Dewenter, and T. Tscharntke. "Local species immigration, extinction, and turnover of butterflies in relation to habitat area and habitat isolation." *Community Ecology* 137 (2003 b): 591-602.
- Lafranchis, T. *Les Papillons de Jour de France, Belgique et Luxembourg et leurs Chenilles*. BIOTOPE, 2000. 448 pp
- Marini, L., P. Fontana, A. Battisti, and K. J. Gaston. "Agricultural management, vegetation traits and landscape drive orthopteran and butterfly diversity in a grassland–forest mosaic: a multi-scale approach." *Insect Conservation and Diversity* 2 (2009): 213-220.
- Menendez, R., A. Gonzalez-Megias, Y. Collingham, R. Fox, D. B. Roy, R. Ohlemuller and C. D. Thomas. "Direct and indirect effects of climate and habitat factors on butterfly diversity." *Ecology* 88 (2007): 605-611.
- Agence de services et de paiements. 2013. www.asp-public.fr.
- Ricketts, T. H., G. C. Daily, P. R. Ehrlich, and J. P. Fay. "Countryside Biogeography of moths in a fragmented landscape : biodiversity in native and agricultural habitats." *Society for Conservation Biology* 15 (2001): 378-388.
- Royan, C., and L. Roth. *Des plantes utiles aux abeilles*. Association de Développement de l'Apiculture d'Ile-de-France, 1998.
- Schielzeth, H. "Simple means to improve the interpretability of regression coefficients." *Methods in Ecology and Evolution* 1 (2010): 103-113.
- Slansky, F. Jr. "Relationship of larval food-plants and voltinism patterns in temperate butterflies." *Psyche* 81 (1974): 243-253.
- Steffan-Dewenter, I., and T. Tscharntke. "Butterfly community structure in fragmented habitats." *Ecology Letters* 3 (2000): 449-456.
- Tudor, O., R.L.H. Dennis, J.N. Greatorex-Davies, and T.H. Sparks. "Flower preferences of woodland butterflies in the UK: nectaring specialists are species of conservation concern." *Biological Conservation* 119 (2004): .
- Vickery, M. "Gardens as an aid to the conservation of butterflies." *Science Progress* 90 (2007): .
- Watson, J. E. M., R. J. Whittaker, and D. Freudenberger. "landscapes?, Bird community responses to habitat fragmentation: how consistent are they across." *Journal of Biogeography* 32 (2005): 1353–1370.

ANNEXES

Annexe 1. Eléments du jardin

Arbres blessés	Arbres fruitiers	Arbres morts
Bassin	Buddléias	Centaurées
Compost	Crucifères	Friches
Pavés	Géraniums	Haies
Lavande	Lierre	Marronniers
Orties	Parterre	Pelouse
Plantes aromatiques	Platane	Potager
Ronces	Rosiers	Souche
Terreau	Tilleuls	Trèfle
Valériane	Verger	Vieux arbres

Annexe 2. Classes de taille du jardin en m²

0
20
100
200
300
400
600
800
1 000
1 500
2 000
2 500
3 000
4 000
6 000

RESUME

La fragmentation, responsable de la dégradation de la qualité des habitats et de la diminution de la connectivité entre les différents éléments paysagers, est une conséquence de l'action de l'homme et une des causes principales de la régression de la biodiversité. Le but de cette étude a été de comprendre l'impact des caractéristiques du paysage sur les communautés de papillons communs en France. A partir des données du programme de science participative « l'Observatoire des Papillons de Jardin » et de bases de données géographiques d'occupation des sols, j'ai ainsi pu mettre en évidence l'impact des usages agricoles, de l'urbanisation et des linéaires routiers dans un rayon de 5km sur l'abondance et la diversité en papillons des jardins. Les résultats montrent un fort effet des caractéristiques du jardin à cette échelle (surface du jardin, diversité en éléments, indice nectarifère). Le principal facteur paysager ayant un impact sont les linéaires (routes, chemins) et semblent plus servir de barrière que de corridors écologiques. Néanmoins l'abondance de certaines espèces et certains groupes fonctionnels montre des relations avec les différents types d'utilisation du sol. Des analyses similaires à des échelles plus petites pourraient permettre de mettre en évidence d'autres effets du paysage plus importants.

ABSTRACT

Fragmentation, which is responsible for the deterioration of natural habitats quality and for the decrease of connectivity between the different elements of the landscape is the result of human activities and is one of the main course of biodiversity decline. This study aimed at understanding the impact of landscape structure on common butterflies communities in France. Using data from the program of citizen science, « l'Observatoire des Papillons de Jardin » (garden butterflies monitoring scheme) and from geographical databases on ground occupation, I highlighted the fact that agricultural practices, urbanization and road networks have an impact on the abundance and diversity of garden butterflies within a 5km radius. At this scale, our results show the major impact of the garden characteristics (garden area, naturalness, the nectar offer). The main landscape factors impacting butterflies communities are the linear elements (roads, paths) which seem to act more as barriers than as ecological passageways.

However, the abundance of some species and some functional groups is related to ground use. Similar analysis on smaller scales should be performed to reveal other more important impacts of the landscape.