

ETUDE DE LA FLORE MESSICOLE DES ESPACES AGRICOLES DE LA REGION AURA

Développement méthodologique en écologie du paysage et écologie spatiale pour comprendre la structuration des espèces



Morgane Curial

Master 2 professionnel – Expertise Ecologique et Gestion de la Biodiversité

Université Aix-Marseille

Stage réalisé sous la direction de

Benoît Sarrazin

ISARA-Lyon

Année universitaire 2017/2018

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	8
Perte de biodiversité dans les agroécosystèmes	8
Les outils français pour préserver la biodiversité	8
Notion de perméabilité des espaces agricoles	9
Qu'est-ce qui structure les assemblages floristiques dans les espaces agricoles ?	9
Objectifs du stage et problématiques	11
MATERIELS ET METHODES	13
La flore messicole : un modèle écologique d'intérêt	13
Description et localisation des territoires d'étude	14
Relevés floristiques : protocole utilisé	15
Le spatial	17
Le paysage.....	18
Analyses descriptives et statistiques	19
RESULTATS	22
Descriptions du jeu de données	22
Présence d'une autocorrélation spatiale	25
Echelle spatiale : vers le choix d'un modèle à large échelle.....	25
Culture de printemps et prairies temporaires : variables jouant sur la richesse	26
Assemblages et dissimilarité : prédominance d'une structure spatiale.....	29
DISCUSSION	30
Composition floristique et paysagère des territoires	30
Contexte spatial et contexte paysager	31
Des mesures de conservation sont-elles envisageables ?.....	33
Vers de nouvelles variables ?.....	34
CONCLUSION.....	35
Bibliographie	36

Webographie..... 39
RESUME..... 52

TABLE DES FIGURES

Figure 1 – Carte de l’ancienne région Rhône-Alpes réalisée sur les onze territoires pris en compte dans la CPO à partir de 480 relevés phytosociologiques représentant à la fois la richesse en messicoles (taille des cercles) et la proportion de ces messicoles parmi les adventices	14
Figure 2 - Illustration des surfaces inventoriées sur les parcelles de céréales à paille d’hiver (à gauche) et photo du transect n°355-1 illustrant la localisation de la bande et de l’interface (à droite)	16
Figure 3 - Localisation des inventaires du Forez (vert) de la Bièvre (beige) et du Rovaltain (rouge). La délimitation des territoires est représentée en bleu.....	16
Figure 4 - illustration des axes de l’hétérogénéité spatiale (Modifié de Fahrig <i>et al.</i> , 2011)..	18
Figure 5 – Représentation sous forme de boîtes à moustache de la richesse en messicole par territoire selon la préférence des espèces entre la bande (orange), l’interface (vert) ou l’indifférence entre les deux (bleu).	22
Figure 6 - Courbe d’accumulation lissée des espèces messicoles par parcelle sur les inventaires de 2017. Le trait de couleur est la moyenne d’accumulation des espèces et l’aire grisée est l’erreur standard obtenue par permutation de l’ordre d’ajout des parcelles (Gobelli & Colwell, 2001, R library vegan). Les 3 territoires sont représentés : la Bièvre en beige, le Forez en vert et le Rovaltain en rouge.	23
Figure 7 – Carte illustrative de la classification des paysages présents dans un rayon de 500 mètres autour des parcelles inventoriées. La taille des carrés représente la surface moyenne des parcelles agricoles dans le rayon et la couleur représente la dominance de composition du paysage.	24
Figure 8 – Schématisation de la parcelle 33 du Rovaltain et des zones tampon qui l’entourent. Elle représente un archétype des parcelles inventoriées.....	25
Figure 9 – Représentation du meilleur GLM sur des graphiques bivariés. La richesse en fonction du pourcentage de prairies temporaires à gauche et la richesse en fonction du pourcentage de cultures de printemps à droite.....	27
Figure 10 - Représentation du meilleur GLM par territoire sur des graphiques bivariés. Pour le Rovaltain : la richesse en fonction de la surface moyenne des parcelles (A) et la richesse en fonction du pourcentage de cultures de printemps (B). Pour la Bièvre : la richesse en fonction de l’axe Sud-Nord (C). Pour le Forez : la richesse en fonction du pourcentage de cultures de printemps (D)...	28
Figure 11 – Cartographie de la typologie des climats français (tiré de Joly et al, 2010)	30

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 – Résultats de la modélisation comparant la richesse des différentes zones tampon.....	26
Tableau 2 – Résultats de la modélisation comparant la richesse selon les variables de la zone tampon de 500 mètres.....	27

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE I - CHAÎNE DE TRAITEMENT SIG DES DONNÉES PAYSAGÈRES.....	41
ANNEXE II – LISTE DES ESPÈCES ET LEUR PRÉSENCE PAR PARCELLE.....	44
ANNEXE III – RENDU VULGARISÉ	45

LISTE DES ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales
ACS : AutoCorrélation Spatiale
AFC : Analyse Factorielle des Correspondances
AIC : Akaike Information Criterion
AICc : Akaike Information Criterion corrigé
AURA : Auvergne-Rhône-Alpes
CAH : Classification à Ascendance Hiérarchique
CBNA : Conservatoire Botanique National Alpin
CBNMC : Conservatoire Botanique National du Massif Central
CEN RA : Conservatoire des Espaces Naturels de Rhône-Alpes
CPO : Convention Pluriannuelle d'Objectifs
FRAPNA : Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature
LPO : Ligue de Protection des Oiseaux
RDA : Analyse de Redondance
sCoT : Schéma de Cohérence Territoriale
SRCE : Schéma Régional de Cohérence Ecologique
TVB : Trame Verte et Bleue

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Benoît Sarrazin, Enseignant-Chercheur à l'ISARA, qui m'a confié ce stage et m'a soutenue tout au long de ces 6 mois. Grâce à sa disponibilité, ses encouragements et ses conseils, j'ai pu atteindre une grande partie des objectifs que l'on s'était fixés.

Ce travail n'aurait pas été possible sans la participation de la Région Auvergne-Rhône-Alpes, qui a permis, à l'aide de ses financements, l'émission de cette offre de stage.

J'adresse également mes remerciements à Ludovic Bouquier, Chargé d'études Loire au CEN Rhône-Alpes. Présent à chacune des réunions d'avancement, ses critiques et analyses ont aidées à structurer l'ensemble de mes méthodes et résultats.

Un merci également au CBN Massif-Central et au CBN Alpin, partenaires du projet à l'origine des données floristiques sur lesquelles se base ce stage. J'accorde en particulier toute ma gratitude à Ornella Kristo, Lucile Vahe et David Paulin du CBNA, également présents et disponibles tout au long de l'avancée du projet.

Une pensée à mes amis stagiaires, « colocataires » de la salle 314 et « pensionnaires » de la salle 322, pour leur joie de vivre, les repas animés, l'entraide « stateux » et sans oublier les mots croisés qui ont dicté nombre de nos pauses méridiennes.

Enfin, je remercie celles et ceux qui me sont chers pour leur soutien moral et leurs encouragements durant ces 6 mois. Une pensée particulière envers mes relecteurs coutumiers qui prennent à cœur leur job occasionnel.

INTRODUCTION

Perte de biodiversité dans les agroécosystèmes

Entre 1961 et 2015, une augmentation de la surface des terres agricoles à l'échelle mondiale, à hauteur de 10 millions de kilomètres carrés, a été comptabilisée (FAOSTAT, 2015). L'expansion de l'agriculture est d'ores et déjà considérée comme l'une des principales causes de la perte de biodiversité du 21^{ème} siècle (MAE, 2005). Elle génère en effet la réduction voire la destruction de divers écosystèmes au profit des monocultures.

En Europe, on assiste au contraire à un recul des terres agricoles avec une perte de 11% de leur surface sur la même période (FAOSTAT, 2015), généralement au profit de zones urbanisées. Les agroécosystèmes européens voient pourtant leur biodiversité diminuer en raison de changements opérés dans les pratiques agricoles depuis la fin de la seconde guerre mondiale (Stoate *et al.* 2001). L'intensification des pratiques agricoles durant les dernières décennies semble en effet mener à un déclin de la biodiversité dans les agroécosystèmes en place (Krebs *et al.*, 1999 ; Tilman *et al.* 2002).

Les outils français pour préserver la biodiversité

La Trame Verte et Bleue

Aménagée en France à la suite du Grenelle de l'Environnement de 2007 (Loi n°2009-967 du 3 août 2009), la Trame Verte et Bleue (TVB) est un outil d'aménagement durable du territoire qui projette d'enrayer la perte de biodiversité tout en veillant à conserver le bon état des habitats naturels et des continuités écologiques.

Le Schéma Régional de Cohérence Ecologique

Afin de mettre en place cette TVB à l'échelle régionale, des documents cadre sont élaborés et régulièrement mis à jour : ce sont les Schémas Régionaux de Cohérence Ecologique (SRCE).

Le SRCE Rhônealpin, approuvé à l'été 2014, est basé sur trois composantes de continuité écologique : les réservoirs de biodiversité, les corridors écologiques et les espaces dits « perméables ». Ces derniers constituent des milieux qui ont un rôle primordial dans le fonctionnement écologique du territoire bien qu'ils ne présentent qu'une biodiversité ordinaire. Ces espaces perméables sont complémentaires des corridors écologiques puisqu'ils possèdent le même rôle fonctionnel (i.e. la liaison entre les réservoirs de biodiversité) mais diffèrent dans leurs structuration et localisation. Ils sont en effet situés dans des zones à forte dominance

agricole, forestière et naturelle, parfois liés aux milieux aquatiques, en fond de vallée et autour des agglomérations.

Afin d'améliorer les connaissances sur la perméabilité écologique, la région Auvergne-Rhône-Alpes finance diverses Conventions Pluriannuelles d'Objectifs (CPO) dont l'une se focalise sur les espaces agricoles.

Notion de perméabilité des espaces agricoles

La perméabilité est vue comme une particularité de certains espaces à favoriser la circulation des espèces (Amsallem *et al.*, 2010). Dans les espaces agricoles, les activités humaines maintiennent un régime de perturbation stochastique sur les écosystèmes en place, pour lesquels la notion de perméabilité a été peu étudiée.

L'ISARA-Lyon, établissement d'enseignement supérieur et de recherche, a été mandaté comme chef de file pour évaluer (1) les fonctionnalités écologiques et (2) les ressorts socio-économiques et géographiques des espaces agricoles Rhônalpins. De nombreux partenaires participent également à ce projet comme les Conservatoires Botaniques Nationaux du Massif Central (CBNMC) et Alpin (CBNA), les Chambres Départementales d'Agriculture de la Drôme, de l'Isère et de la Loire, la Chambre d'Agriculture de la région Rhône-Alpes, le Conservatoire des Espaces Naturels de Rhône-Alpes (CEN RA), la Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature (FRAPNA) et les associations de Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO) de la région, des départements de la Drôme, de l'Isère et de la Loire. L'objectif de ces études est de concilier le développement agricole dans le respect de la perméabilité écologique.

Trois groupes taxonomiques font l'objet de l'analyse des fonctionnalités écologiques : les oiseaux, les arthropodes et la flore, interagissant tous trois avec les activités agricoles.

Dans ce cadre opérationnel, le stage dont fait l'objet ce rapport a pour but de réaliser un développement méthodologique reproductible sur des relevés floristiques de cultures de céréales à paille d'hiver, en 2017, par les CBN Alpin et Massif Central.

Qu'est-ce qui structure les assemblages floristiques dans les espaces agricoles ?

La flore des espaces agricoles, et particulièrement celle inféodée aux cultures (adventices), se structure plus ou moins fortement selon des paramètres biotiques, résultant notamment de la compétition entre les espèces, mais aussi de différents paramètres abiotiques, dont les quatre principaux sont détaillés ci-après.

Le contexte agronomique

D'après une étude menée par Fried et ses collaborateurs (2009), la richesse spécifique et la densité en plantes ont fortement diminué dans les parcelles agricoles entre 1970 et 2000. La taille des banques de graines du sol semble également être en déclin, du moins en Grande-Bretagne (Marshall *et al.*, 2003). Ceci reflète une pratique agricole de lutte efficace contre ces espèces indésirables des cultures. L'utilisation d'herbicides semble en effet conduire à une érosion de la diversité floristique. Les parcelles issues d'une agriculture biologique sont plus riches en espèces que celles issues d'une agriculture conventionnelle (Moreby *et al.*, 1994 ; Hyvönen *et al.*, 2003 ; Roschewitz *et al.*, 2005). Par ailleurs, une faible densité de semis dans les cultures de blé serait d'ailleurs défavorable à un groupe d'espèces patrimoniales (messicoles), au profit d'espèces rudérales mésophiles (Affre *et al.*, 2003). La présence de ces plantes semble également être régie par la pratique du labour et de la rotation des cultures.

En résumé, les différentes pratiques agricoles régissent les assemblages des plantes dans les espaces agricoles.

Le contexte pédoclimatique

La description écologique des espèces permet de connaître leurs préférences selon différents facteurs abiotiques. Chaque espèce possède ainsi ses propres optimums, et une gamme plus ou moins large de valeurs pour laquelle elle supporte le facteur : on parle de valence écologique. La plupart de ces facteurs sont relatifs au contexte pédoclimatique. C'est le cas par exemple de l'humidité, de la lumière, de la température, de la continentalité et des critères pédologiques (structure du sol, pH, salinité, texture).

Le contexte agronomique semble toutefois régir de manière plus importante les règles d'assemblages de la flore des cultures que le contexte pédoclimatique (Fried, 2010). Il s'agit cependant des deux contextes régissant principalement les assemblages.

Le contexte spatial

Dans la nature, la distribution des espèces n'est ni uniforme ni aléatoire. Les distributions existantes sont caractérisées par des structures spatiales. Ainsi, on observe une autocorrélation spatiale (ACS) positive quand des sites proches se ressemblent plus que des sites éloignés. La manifestation de cette autocorrélation spatiale peut-être due à la présence de processus

biologiques modelant les règles d'assemblage (Legendre, 1993) ou encore du fait que les variables environnementales étudiées soient structurées dans l'espace.

Le contexte paysager

Lech Ryszkowski (2001) indique que l'agriculture a joué un rôle important dans la transformation des paysages. En effet, l'expansion des zones agricoles, l'intensification des pratiques après la seconde guerre mondiale et enfin la déprise au profit de l'urbanisation sont des processus qui se sont succédé dans le temps et qui ont façonné le paysage que l'on observe actuellement. Cependant, cette évolution n'est pas sans conséquences et a mené à l'appauvrissement ainsi qu'à la simplification de la structure des agroécosystèmes, donc, du paysage agricole. Pour cet auteur, les paysages jouent un rôle important dans le maintien de la biodiversité. A l'échelle du paysage, il semble que ce soit l'augmentation de la taille des parcelles et l'homogénéisation paysagère – en outre, la simplification des paysages – qui sont source d'une perte de diversité. Ainsi, complexifier le paysage se révélerait être une méthode efficace pour augmenter la diversité floristique des agroécosystèmes menant à des diversités identiques entre les agricultures conventionnelle et biologique (Roschewitz *et al.*, 2005).

Le contexte paysager est donc susceptible de structurer les assemblages de plantes et forme également un élément de communication en faveur de la biodiversité dans les territoires agricoles. C'est en effet un élément de levier à considérer : les autres contextes semblent difficilement modifiable à moyen terme.

Objectifs du stage et problématiques

Il semble donc intéressant de se pencher sur ces quatre contextes pour comprendre les règles d'assemblages de la flore de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Seuls le contexte spatial et le contexte paysager sont abordés lors de ce stage. En effet, le contexte pédoclimatique devait être étudié, mais les données pédologiques n'ont pu être obtenues dans les temps. Le contexte agricole, et notamment le phénomène de rotation des cultures fera l'objet d'une étude ultérieure par l'ISARA Lyon.

Dans la région AURA, onze territoires agricoles, dont cinq prioritaires dans la CPO, ont été identifiés. L'analyse descriptive des données d'inventaires sur ces onze territoires a été effectuée durant ce stage mais n'est pas présentée dans ce rapport. En effet, une analyse à une échelle plus fine est privilégiée, mettant en avant l'analyse du contexte spatial et du contexte paysager au regard des inventaires. Ainsi, trois plaines agricoles de la région ont été sélectionnées pour cette

analyse : le sCoT du Rovaltain (26 - Rovaltain), le pays de Bièvre-Valloire (38 – Bièvre) et la communauté d'agglomération Loire-Forez (42 – Forez).

Le rapport se structure selon trois problématiques :

- La première étudiant le contexte spatial de manière indépendante par territoire : « les sites les plus proches sont-ils plus ressemblants en termes de richesse et d'assemblages des messicoles que les sites les plus éloignés ? Une structure spatiale globale peut-elle être décrite ? »

Il est attendu que les sites spatialement proches ont tendance à posséder plus de ressemblances entre eux que les sites les plus éloignés. Si une telle structure est observée, alors le spatial devra être pris en compte dans les autres analyses.

- La seconde fixant l'échelle d'étude du paysage : « à quelle échelle spatiale l'hétérogénéité paysagère structure-t-elle la richesse floristique ? »

Les organismes perçoivent le paysage qui les entoure en fonction de leurs capacités de dispersion (Roschewitz *et al.*, 2005). Il s'agira de définir la distance optimale autour de la parcelle pour laquelle la richesse en messicoles répond aux éléments paysagers. Une précédente étude a mis en avant une distance de 200 mètres pour l'ensemble des plantes (adventices) présentes dans les cultures (Gaba *et al.*, 2010).

- La troisième étudiant le contexte paysager : « La richesse et/ou les assemblages sont-ils structurés par le paysage ? »

Il est possible de prédire que plus l'hétérogénéité du paysage augmente, donc plus le paysage est complexe, plus la richesse spécifique augmente à son tour (Roschewitz *et al.*, 2005). Gaba et ses collaborateurs (2010) ont montré que les éléments structurant principalement la richesse en flore adventice sont la taille de la parcelle et le nombre de parcelles autour de la culture inventoriée. Il s'agira de définir les facteurs paysagers qui influencent la richesse en messicoles mais aussi les assemblages de ces plantes.

Dans l'éventualité où des facteurs paysagers structureraient l'assemblage des espèces, des recommandations pourront être proposées afin de favoriser la présence de flores patrimoniales au sein des agrosystèmes céréaliers de la région AURA.

MATERIELS ET METHODES

La flore messicole : un modèle écologique d'intérêt

Définitions

Une part de la flore, dite adventice, possède une croissance spontanée dans les milieux modifiés par l'Homme (Godinho, 1984). Plus communément nommées « mauvaises herbes » en agronomie, les adventices regroupent toutes les plantes se développant dans un champ hormis l'espèce cultivée (Boullard, 1965 in Oliverea, 1996). Pas moins de 1200 espèces d'adventices se rencontrent dans et autour des champs cultivés en France, représentant un-cinquième des espèces d'angiospermes du territoire métropolitain (Jauzein, 1995).

Les messicoles forment un groupe d'adventices, généralement annuelles, possédant un cycle biologique similaire à celui des céréales d'hiver (Olivereau, 1996). En effet, étymologiquement, les messicoles sont inféodées aux moissons (du latin « messis » : moisson et « colo » : habiter).

Les adventices : proxy de la biodiversité globale des agroécosystèmes

Dans les paysages agricoles, la diversité en plantes contribue à la diversité globale par son influence sur la diversité animale (Ryszkowski, 2001). Différentes études ont été menées sur le lien entre l'utilisation des herbicides et la biodiversité localement présente. Les adventices, sensibles aux herbicides, constituent ainsi des ressources primaires importantes à la fois pour les oiseaux (Gibbons *et al.*, 2006) et les insectes (Hawes *et al.*, 2003). Ces résultats sont confirmés par d'autres études : les oiseaux ont vu leurs ressources alimentaires diminuer de deux-tiers en France sur 30 ans (Fried *et al.*, 2009) et les insectes, notamment certains phytophages, voient leurs cycles de vie nettement perturbés (Marshall *et al.*, 2003).

La flore adventice constitue un groupe d'espèces à enjeu pour la préservation de la biodiversité dans les espaces agricoles.

Les messicoles : espèces menacés

Les messicoles constituent des espèces peu concurrentielles mais adaptées aux milieux subissant des perturbations. Le flux de pollen naturel de ces espèces semble négligeable par rapport à la speirochorie induite par le réensemencement et les déplacements des engins agricoles entre les différentes cultures (Affre *et al.*, 2003). Les graines sont ainsi dispersées sur de grandes distances. Ces messicoles possèdent bien souvent une forte valeur patrimoniale. En effet, sur une liste nationale de 101 espèces définies en 1998, 57 ont été classées « en situation précaire » et 30

« à surveiller » (Aboucaya *et al.*, 2000). Dans les systèmes de production intensifs, les bordures de champs peuvent constituer des zones refuge pour ces espèces (Fried *et al.*, 2009).

Description et localisation des territoires d'étude

Les relevés floristiques de 2017 ont été réalisés à partir d'un protocole commun aux CBN. Le CBNMC est en charge de la plaine agricole du Forez et le CBNA des plaines agricoles du Rovaltain et de la Bièvre.

Le Forez est situé dans le département de la Loire (42), au nord de Saint-Etienne. Il est dominé par un système de production en polyculture-élevage. Le Rovaltain est une plaine agricole drômoise (26), s'étalant sur un axe nord-sud à l'est de Valence. La plaine agricole de la Bièvre se situe dans l'Isère (38), sur un axe est-ouest. Le Rovaltain et la Bièvre possèdent un système de production d'agriculture intensive.

En termes de richesse et de proportion de messicoles (figure 1), le Forez semble peu riche en espèces patrimoniales (effort d'échantillonnage faible – 7 sites) de même que la Bièvre (46 sites) avec des proportions en messicoles inférieures à 15%. Le Rovaltain semble quant à lui plus riche (24 espèces différentes) avec une proportion en messicoles parmi l'ensemble des adventices de 23% (effort d'échantillonnage fort – 74 sites). Ces informations seront confirmées par l'analyse descriptive de ces trois territoires.

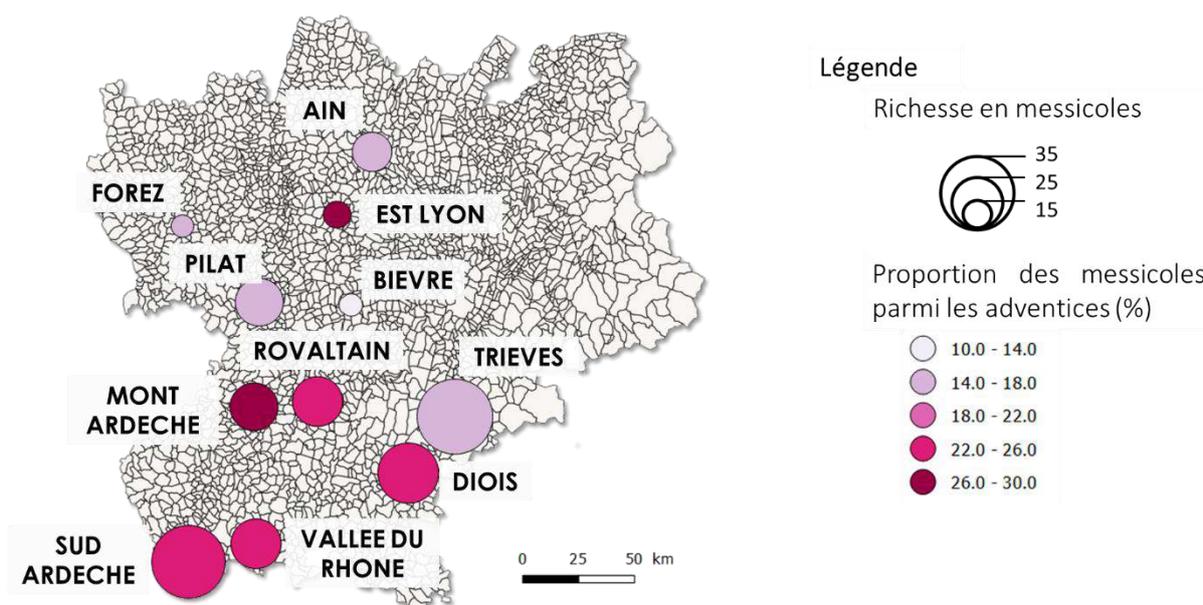


Figure 1 – Carte de l'ancienne région Rhône-Alpes réalisée sur les onze territoires pris en compte dans la CPO à partir de 480 relevés phytosociologiques représentant à la fois la richesse en messicoles (taille des cercles) et la proportion de ces messicoles parmi les adventices

Relevés floristiques : protocole utilisé

Sélection des parcelles

Le choix des parcelles a été réalisé dans le but de limiter les facteurs liés au contexte agricole pour ainsi mettre plus facilement en évidence le contexte paysager et sa capacité à affecter la richesse et la composition en adventices. Ainsi, la sélection des parcelles cultivées s'est faite sur quatre critères : (1) l'assolement doit être en céréales à paille d'hiver, favorisant ainsi la présence de messicoles, (2) la pratique doit être conventionnelle, limitant la variation de la richesse entre les parcelles inventoriées, (3) avec un labour du sol systématique, facteur de perturbation important pour les espèces adventices, et (4) sans réutilisation de semences précédemment récoltées, limitant la speirochorie.

La rotation des cultures n'a pas été prise en compte dans cette sélection. Il s'agira donc d'une étude ultérieure qui sera réalisée par l'ISARA Lyon.

Protocole d'inventaire

Le protocole relatif à l'inventaire floristique s'inspire du protocole mis en place pour le programme CASDAR (CBN midi-Pyrénées, document interne). Il s'agit de réaliser deux transects en bande par parcelle dans lesquels un inventaire exhaustif des plantes adventices présentes est réalisé. Deux zones distinctes sont inventoriées (figure 2) :

- Une **zone d'interface**, entre la limite de la parcelle et le premier rang de culture. Il s'agit d'une zone labourée, mais qui n'est pas semée ou amendée, et peu désherbée. Elle est susceptible d'exprimer le potentiel de biodiversité sur la parcelle. L'aire inventoriée, qui doit correspondre à 50 mètres carrés, est prise sur toute la largeur de l'interface, les dimensions sont donc variables d'un transect à l'autre.
- Une **bande** de 4 mètres de largeur à partir du premier rang de culture sur une longueur de 100 mètres afin d'obtenir une surface de 400 mètres carrés prospectée.

Ainsi, chaque parcelle inventoriée possède 4 zones, pour un total de 900 mètres carrés d'inventaire. Cette surface est considérée comme représentative de la richesse totale de la parcelle.

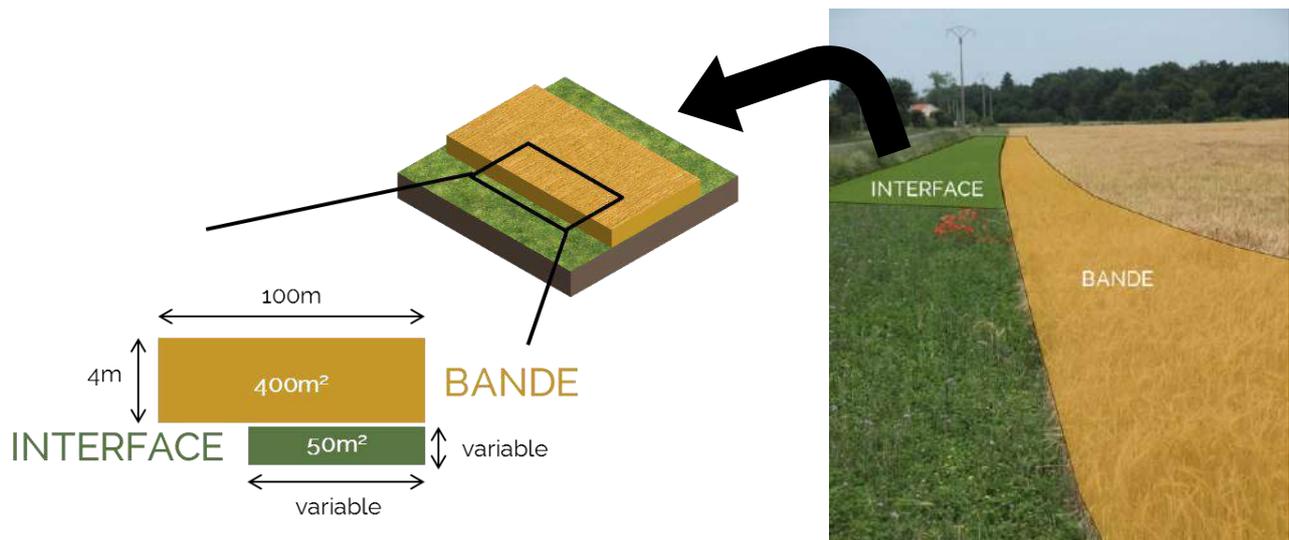


Figure 2 - Illustration des surfaces inventoriées sur les parcelles de céréales à paille d'hiver (à gauche) et photo du transect n°355-1 illustrant la localisation de la bande et de l'interface (à droite)

22 parcelles ont été inventoriées dans le Forez (figure 3 – en vert), 30 dans la Bièvre (figure 3 – en beige) et 30 dans le Rovaltain (figure 3 – en rouge) entre mai et mi-juillet 2017, période optimale de floraison et fructification des plantes messicoles.

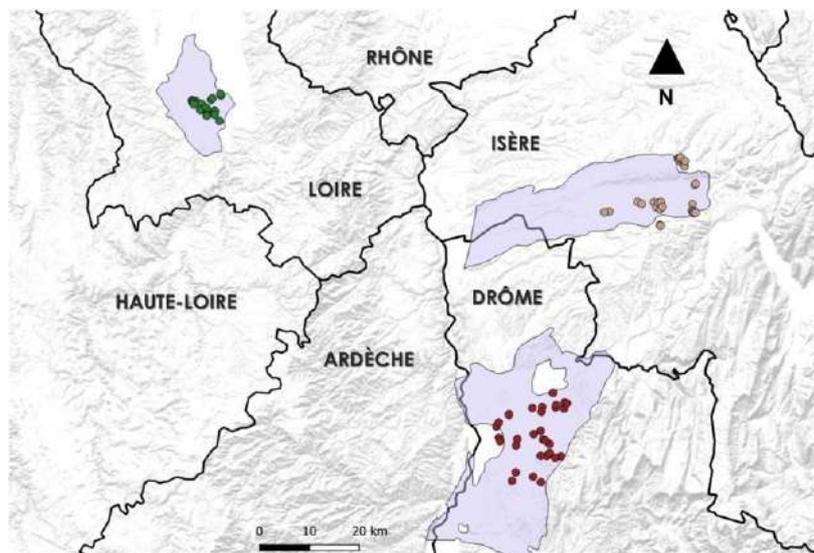


Figure 3 - Localisation des inventaires du Forez (vert) de la Bièvre (beige) et du Rovaltain (rouge). La délimitation des territoires est représentée en bleu.

Richesse spécifique, assemblages floristiques et diversité β

L'étude de l'assemblage floristique semble de prime abord complexe de par la diversité des traits de vie des espèces, des relations biotiques interspécifiques et de la variabilité abiotique décrite précédemment. C'est pourquoi il est d'abord étudié le lien entre le paysage et la richesse

spécifique, paramètre simpliste, qui qualifie le nombre d'espèces présentes sur chaque parcelle inventoriée. Dans un second temps, les assemblages sont étudiés, c'est-à-dire la composition en espèces des différentes parcelles.

Les données issues du protocole d'inventaire permettent de mettre en forme une matrice de présence/absence des assemblages (fonctions `melt` et `cast`, package `reshape2`, Wickham, 2016). Les parcelles inventoriées sont représentées en ligne et les différentes espèces en colonne, ainsi la somme sur les lignes permet d'obtenir la richesse par parcelle.

La diversité β est un indice montrant la dissemblance entre les parcelles en termes de composition floristique. Elle est calculée en utilisant l'indice de dissimilarité de Bray-Curtis sur les parcelles prises deux à deux (R – fonction `vegdist`, package `vegan`, Oksanen *et al.*, 2013). Cet indice est compris entre 0 et 1, les valeurs proches de 0 signifient que les cortèges d'espèces sont similaires.

Le spatial

Quantifier l'autocorrélation spatiale

L'autocorrélation spatiale se caractérise par la corrélation d'un phénomène mesuré entre les mesures géographiquement voisines.

Afin de détecter et quantifier l'autocorrélation spatiale (ACS), il est possible d'utiliser l'indice de Moran (Moran, 1950). Cet indice évolue entre -1 et +1, la proximité à 0 indiquant une faible autocorrélation, des valeurs proches de -1 une corrélation négative (les sites proches tendent à être différents) et des valeurs proches de +1 indiquant une corrélation positive.

Attention, la présence d'une ACS empêche l'utilisation d'analyses statistiques dont les conditions d'application nécessitent une indépendance des données (Legendre, 1993).

Analyser l'ACS

Afin d'étudier la richesse spécifique, l'utilisation d'une fonction dissociant la part d'autocorrélation positive et la part d'autocorrélation négative de chaque variable est possible (fonction `moranNP.randtest`, package R `adespatial`, Dray *et al.* 2017). Cependant, cette fonction n'est utilisable que si l'on a une seule variable réponse, ce qui n'est pas le cas des assemblages. C'est donc une fonction travaillant sur deux tableaux qui est envisagée pour les assemblages : `multispati` (package R `adespatial`, Dray *et al.* 2017).

L'absence d'autocorrélation permet de ne pas se soucier du spatial dans l'analyse. En cas d'autocorrélation, un proxy, un peu simpliste, de cette corrélation serait d'intégrer à la modélisation les coordonnées géographiques des sites.

Le paysage

Notions d'écologie du paysage

En écologie du paysage, le paysage est vu comme la traduction dans l'espace de l'écosystème (Richard, 1975). Les processus écologiques observables dans un paysage varient donc selon l'échelle spatiale prise en considération. Un précédent travail sur la flore adventice a fixé une échelle d'étude optimale du paysage de 200 mètres de rayon à partir du barycentre de la parcelle, soit une surface de 12 ha (Gaba *et al.*, 2010). Dans le cadre de ce stage qui s'intéresse à la flore messicole, dont les capacités naturelles de dispersion sont faibles, quatre échelles spatiales sont testées : 100 mètres (3 ha), 200 mètres, 300 mètres (24 ha) et 500 mètres (78,5 ha). Ces distances agissent soit à l'échelle locale, c'est-à-dire la parcelle inventoriée et ses interfaces (100 et 200 mètres), soit à l'échelle intermédiaire, c'est-à-dire la parcelle et le paysage voisin (200 et 300 mètres) soit à large échelle, c'est-à-dire la mosaïque paysagère (500 mètres). Cette notion d'échelle dépend de la surface de la parcelle inventoriée.

En plus de l'échelle spatiale, il est important également de définir les paramètres à étudier. En effet, pour caractériser la structure d'un paysage, différents paramètres peuvent être utilisés comme sa diversité, sa complexité, sa contiguïté et sa connectivité (Fischesser et Dupuis-Tate,

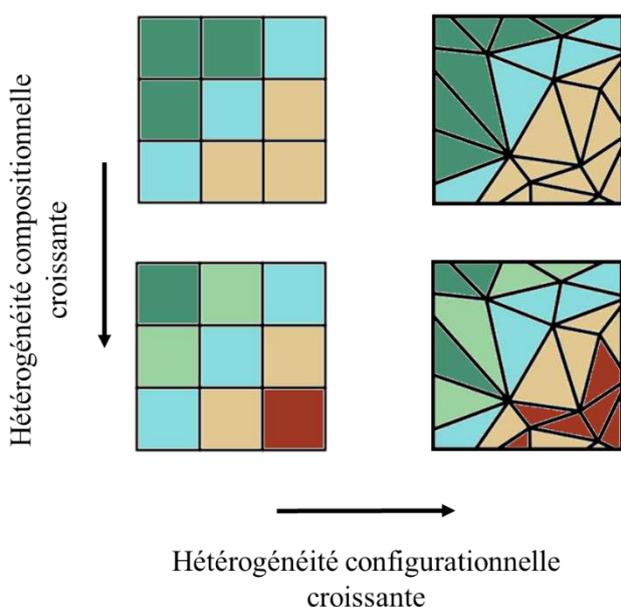


Figure 4 - illustration des axes de l'hétérogénéité spatiale (Modifié de Fahrig *et al.*, 2011)

2017). L'ensemble de ces paramètres sont rattachés à la notion d'**hétérogénéité paysagère**.

L'hétérogénéité paysagère découle du concept de mosaïque (Duelli, 1997) qui définit la biodiversité régionale comme dépendante de paramètres structuraux liés à la diversité et à la complexité des habitats. Fahrig et ses collaborateurs (2011) classent cette hétérogénéité en deux catégories : la composition et la configuration du paysage (Figure 4).

La *composition du paysage* fait intervenir des variables telles que les divers assolements et occupation des sols. Pour cette étude il s'agira de pourcentage de présence des divers couverts, récupérés pour les différentes échelles considérées (100, 200, 300 et 500 mètres). La *configuration du paysage* fait intervenir des métriques numériques caractérisant la complexité d'agencement des éléments du paysage. Dans cette étude, il s'agira de la surface moyenne des parcelles à l'échelle considérée, ainsi que la surface représentant les linéaires de route et les linéaires naturels (haies, cours d'eau et bandes enherbées).

Récupération des informations paysagères

C'est à partir des coordonnées des transects (longitude et latitude) et de la couche SIG du Registre Parcellaire Graphique (RPG – 2016) que sont isolées et redessinées les parcelles inventoriées. Les informations compositionnelles et configurationnelles sont récupérées à l'aide de zones tampon circulaires (de rayon équivalent aux quatre échelles) sur les couches SIG d'Occupation des Sols à l'échelle COMMunale (OSCOM) et RPG 2016. La chaîne de traitement SIG (QGIS – version 3.2.0) utilisée ainsi que la liste des variables est décrite en annexe I.

Analyses descriptives et statistiques

Etude préliminaire : choix et description des variables paysagères

Les agro-écosystèmes sont des habitats complexes rendant ainsi difficile leur modélisation. En effet, de nombreux facteurs peuvent jouer sur les assemblages nécessitant l'utilisation d'analyses multivariées. L'ensemble des analyses présentées ci-dessous sont effectuées sous le logiciel R (version 3.4.3).

Dans un premier temps, une étude préliminaire des données paysagères est mise en place pour identifier les variables les plus pertinentes, en supprimant ou sommant les variables corrélées (R – fonction `corr.mtest` et `corrplot`, package `corrplot`, Wei, 2017). Des représentations visuelles sous forme d'ACP et des Classifications à Ascendance Hiérarchiques (CAH) sont également réalisées.

Analyse descriptive : les espèces

Les données de végétation permettent de réaliser des courbes d'accumulation au sein de chaque territoire (R – fonction `specaccum`, package `vegan`, Oksanen *et al.*, 2013), de réaliser des boîtes à moustaches, des Analyses Factorielles des Correspondances (AFC), ou encore des cartes de répartition d'espèces patrimoniales (QGIS). Des comparaisons de moyenne sont effectuées

pour comparer les territoires entre eux. Des CAH sont réalisées sur les sorties de l’AFC afin d’obtenir une classification des parcelles les unes par rapport aux autres.

Choix de l’échelle paysagère

Le choix de l’échelle paysagère s’effectue en combinant plusieurs méthodes : visuelle sur des cartes (QGis) et des sorties d’ACP mais également à l’aide d’une comparaison de modèles.

La comparaison de modèles est initiée afin d’identifier l’échelle pour laquelle les variables paysagères (variables explicatives) expliquent le mieux la variation de la richesse spécifique (variable à expliquer). Il est employé une régression linéaire généralisée (GLM), méthode permettant de s’affranchir de la non-normalité des résidus en utilisant une distribution d’erreur de Poisson. Le premier modèle répond à l’hypothèse selon laquelle le paysage (et le spatial si une ACS est décelée) s’exprime sur la richesse dans un rayon de 100 mètres. Le second modèle répond à la même hypothèse sur le rayon de 200 mètres, le troisième sur le rayon de 300 mètres et le quatrième sur un rayon de 500 mètres. Le modèle possédant le plus petit AICc est sélectionné (Akaike Information Criterion correction – Hurvich & Tsai, 1989) est considéré comme le plus ajusté aux données.

Identification des variables paysagères structurant la richesse

Une fois l’échelle sélectionnée, une seconde modélisation est utilisée sur le meilleur modèle décrit précédemment. Quatre analyses sont réalisées : tous les territoires simultanément et chaque territoire indépendamment. L’intérêt de cette méthode est de définir la ou les variables qui expliquent le mieux la répartition de la richesse dans le jeu de données, ainsi que leur part de contribution dans le modèle. Pour ce faire, la fonction *dredge* est utilisée (package MuMIn, Barton & Barton, 2018). Pour chacune des quatre modélisations meilleur modèle est sélectionné sur critère d’AICc (Hurvich & Tsai, 1989).

Identification des variables paysagères structurant les assemblages

L’analyse de redondance contrainte utilisée ici (RDAc – Legendre & Legendre, 2012) permet de rechercher un lien linéaire non pondéré entre le tableau d’assemblage des messicoles et les variables paysagères. Elle consiste à séparer la variation due aux variables explicatives (variance dite contrainte) de la variance résiduelle (variance dite non-contrainte). Il est possible de construire un modèle par la méthode « step-by-step » en sélectionnant le meilleur modèle sur critère d’AIC (Akaike Information Criterion – Akaike, 1998). Il s’agit de partir du modèle nul,

c'est-à-dire du modèle sans variables et d'ajouter les variables une à une jusqu'à trouver le meilleur modèle structurant les données. Cette analyse s'effectue à l'aide du package Vegan (Oksanen *et al.*, 2013).

Identification des variables paysagères structurant la dissimilarité

Il s'agit de faire le lien entre la matrice de dissimilarité (diversité β) des sites et le paysage. Pour cela, il faut appliquer une ordination sur la matrice de dissimilarité (fonction *wcmdscale*, package *vegan*, Oksanen *et al.*, 2013) puis réaliser une RDAc (fonction *rda*, package *vegan*, Oksanen *et al.*, 2013).

RESULTATS

Descriptions du jeu de données

Richesse et assemblages

Au total, ce sont 39 espèces de messicoles qui ont été inventoriées dans les trois territoires : 14 espèces dans la Bièvre, 16 dans le Forez et 30 dans le Rovaltain. La moyenne d'espèces par parcelle est de 4.00 (gamme 1-8) pour la Bièvre, 4.28 (gamme 1-7) pour le Forez et 6.33 (gamme 2-12) pour le Rovaltain. Il existe donc un nombre d'espèces par parcelle similaire entre la Bièvre et le Forez ($W=363.50$, $p\text{-value}=0.74$) mais différent entre la Bièvre et le Rovaltain ($W=673.00$, $p\text{-value}=9.04.10^{-4}$) ainsi qu'entre le Forez et le Rovaltain ($W=184.00$, $p\text{-value}=4.00.10^{-3}$).

Si l'on rentre dans le détail du protocole, on peut chercher à comprendre ce qu'il se passe entre la bande (dans la parcelle) et l'interface (en bordure), et ce, en distinguant les trois territoires.

Dans la figure 5, on se rend compte qu'il existe des espèces que l'on retrouve exclusivement dans la bande (jaune), c'est-à-dire

qui ne seront jamais inventoriées dans l'interface, des espèces que l'on retrouve exclusivement dans l'interface (vert) et des espèces communes, que l'on peut retrouver dans les deux zones (bleu). On se rend ainsi compte que le Forez possède un schéma de répartition différent que les deux autres territoires. En effet, dans ce territoire, le nombre d'espèces dans chaque catégorie n'est pas différent ($p\text{-value}>0,80$). Pour la

Bièvre, on compte 25 parcelles sur 30 sans messicoles exclusives à l'interface contre 20 sur 30 pour le Rovaltain. Finalement, la Bièvre et le Rovaltain sont dominés par la présence d'espèces messicoles plutôt généralistes (espèces communes) et par la quasi absence d'espèces messicoles spécialistes de l'interface.

La fréquence des espèces messicoles inventoriées varie entre les sites et les territoires (Annexe II). Sur les 39 espèces, on peut compter 10 espèces fréquentes, dont le Coquelicot

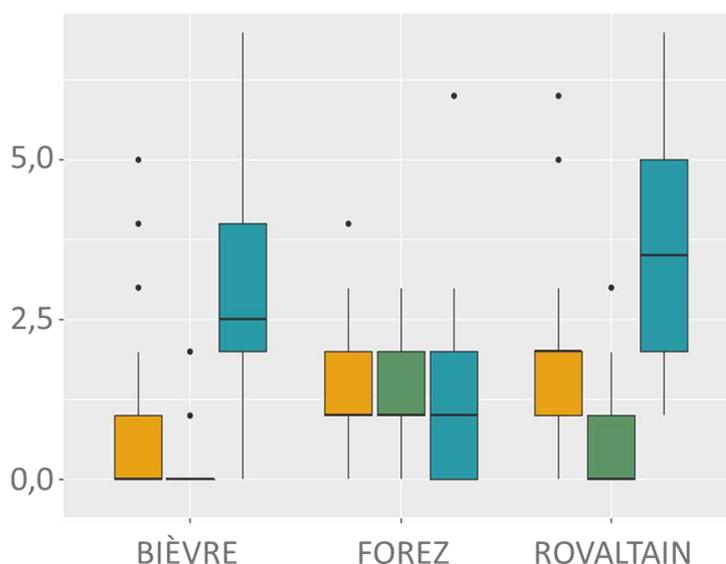


Figure 5 – Représentation sous forme de boîtes à moustache de la richesse en messicoles par territoire selon la préférence des espèces entre la bande (orange), l'interface (vert) ou l'indifférence entre les deux (bleu).

(*Papaver rhoeas*) est le meilleur représentant (présent dans 85,54% des parcelles). Parmi ces espèces fréquentes, trois ne sont pas présentes dans le Forez : le Mouron bleu (*Lysimachia foemina*) qui est présent dans 30 parcelles sur les 60 du Rovaltain et de la Bièvre, le Miroir de Vénus (*Legousia speculum-veneris*) présent dans 25 parcelles et le Torilis des champs (*Torilis arvensis*) présent dans 21 parcelles. Une espèce semble également être très fréquente dans le Forez, mais absente dans les deux autres territoires : le Bleuet (*Cyanus segetum*) présent dans 10 parcelles sur les 22. Parmi les espèces rares, on se rend compte que chaque territoire possède son cortège d'espèces qui ne sont pas présentes dans les deux autres.

Ces résultats sont à relativiser par rapport à la courbe d'accumulation (Figure 6). Il semblerait que le pool d'espèces messicoles de la Bièvre (beige) soit atteint sur les inventaires de 2017 mais pas pour le Forez et le Rovaltain. Ainsi, les résultats obtenus sur l'année 2017 risquent de changer avec l'ajout des inventaires de l'année 2018.

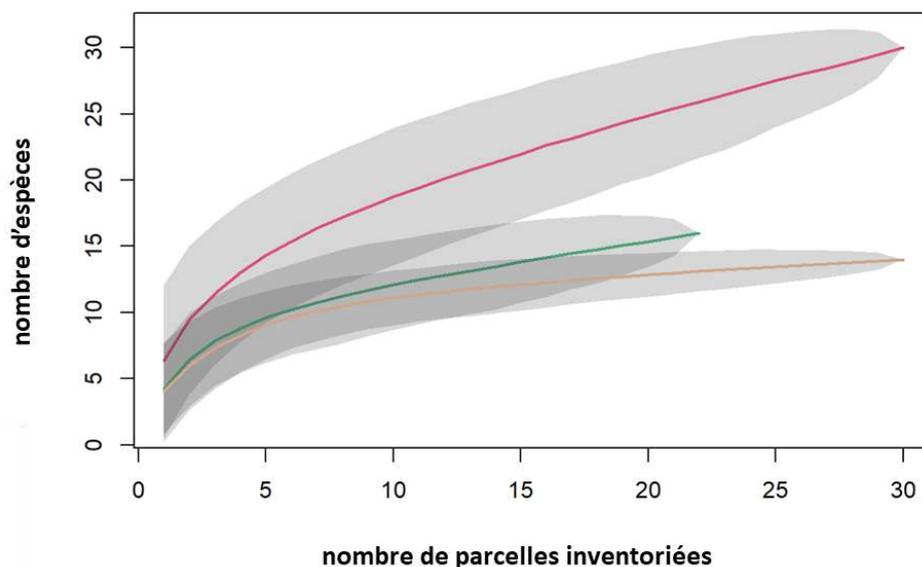


Figure 6 – Courbe d'accumulation lissée des espèces messicoles par parcelle sur les inventaires de 2017. Le trait de couleur est la moyenne d'accumulation des espèces et l'aire grisée est l'erreur standard obtenue par permutation de l'ordre d'ajout des parcelles (Gobelli & Colwell, 2001, R library vegan). Les 3 territoires sont représentés : la Bièvre en beige, le Forez en vert et le Rovaltain en rouge.

Paysages

Pour illustrer la description paysagère, la zone tampon de 500 mètres est choisie. En effet, il est considéré à large échelle que l'effet annuel de la rotation des cultures est atténué. Il s'agit donc d'une estimation moyenne de l'hétérogénéité paysagère compositionnelle sur plusieurs années. Si l'on considère les trois territoires simultanément, la CAH distingue quatre groupes paysagers (figure 7) : le premier dominé par les cultures de printemps et d'hiver et par la petite

taille de parcelles (petits carrés oranges), le second dominé par les éléments naturels de type haies, forêts et prairies permanentes (vert), le troisième dominé par la forte présence de prairies permanentes et de grandes parcelles (jaune) et le quatrième dominé par la présence de prairies temporaires et de cultures d’hiver (rouge). On se rend ainsi compte que les 11 parcelles de la Bièvre en dehors de la zone délimitée, forment à elles seules la classe de paysage dominée par les éléments naturels. La Bièvre possède également 12 parcelles dominées par les cultures (orange), 6 par les prairies permanentes et 1 par les prairies temporaires et cultures d’hiver (rose). Le Rovaltain semble dominé par des cultures (orange et rose), avec une surface de parcelles variable. Le Forez possède 15 parcelles en dominance de prairies permanentes (jaune), 3 en dominance de cultures (orange) et 4 en dominance de prairies temporaires et cultures d’hiver. Si l’on omet la classe dominée par les éléments naturels (vert), les trois territoires possèdent en fréquence variable trois types de territoires.

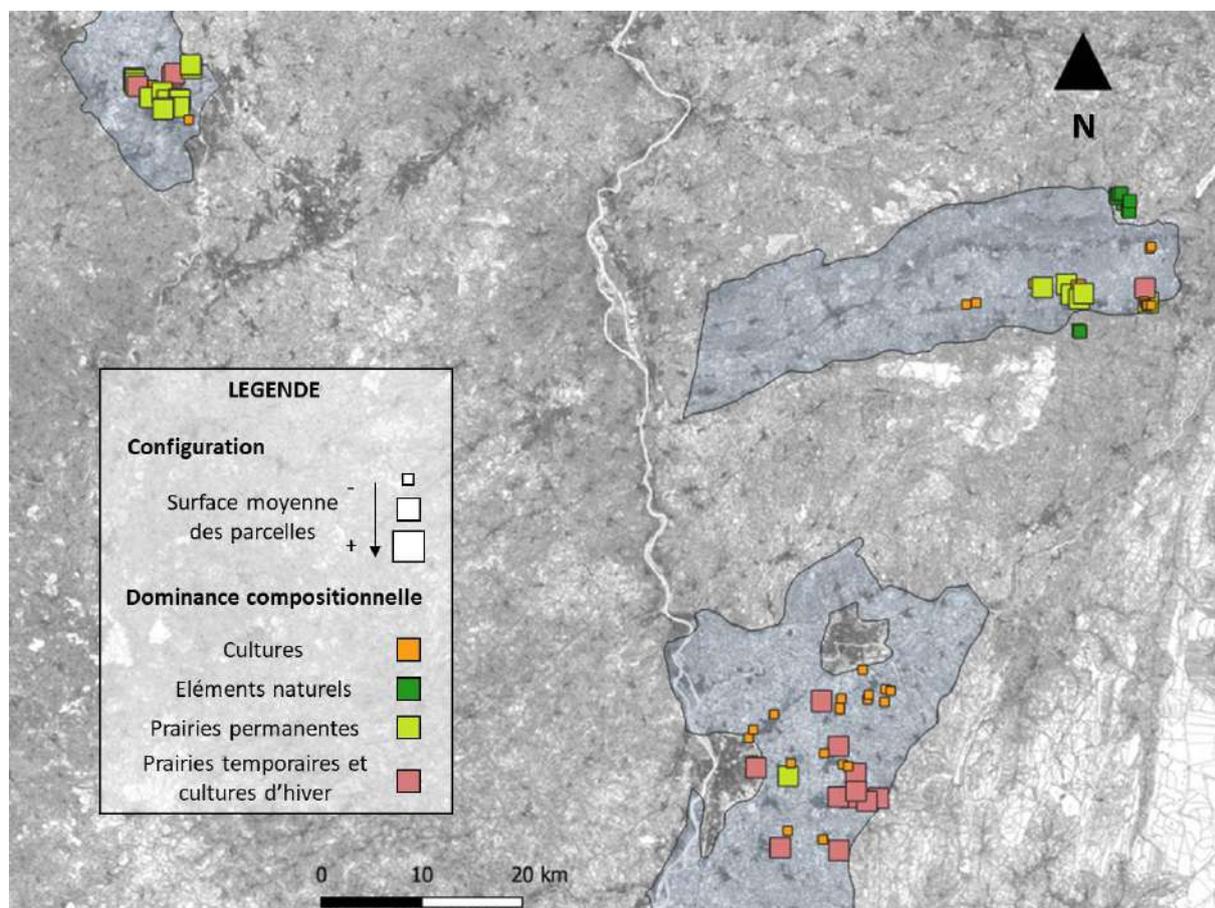


Figure 7 – Carte illustrative de la classification des paysages présents dans un rayon de 500 mètres autour des parcelles inventoriées. La taille des carrés représente la surface moyenne des parcelles agricoles dans le rayon et la couleur représente la dominance de composition du paysage.

Présence d'une autocorrélation spatiale

Dans ces analyses spatiales, les sites éloignés de moins de 1,8 kilomètres pour le Forez, de trois kilomètres pour le Rovaltain et la Bièvre sont plus fortement pondérés entre eux que les sites les plus distants. En effet, le Forez étant un territoire plus petit, la distance entre les parcelles est plus petite. C'est donc à une échelle plus fine que l'on pondère les parcelles.

Il existe une tendance vers une autocorrélation spatiale positive de la richesse pour les 3 territoires mais elle n'est pas significative (Rovaltain : Istat=0,02 ; p-value = 0,06 – Bièvre : Istat=0,01 ; p-value > 0,05 et Forez : Istat=0,02 ; p-value = 0,09).

L'analyse multispati montre une augmentation de l'indice de Moran entre l'ordination simple et l'ordination sous contrainte spatiale de la matrice d'assemblage des espèces. On passe ainsi d'une valeur de 0,34 à 0,72 dans le Rovaltain, de 0,02 à 0,66 dans le Forez et de 0,30 à 0,42 dans la Bièvre de l'indice de Moran. L'indice double dans le Rovaltain, se multiplie par 33 dans le Forez et évolue peu dans la Bièvre. Cette variation entre les deux ordinations indique la présence d'une autocorrélation spatiale positive forte pour le Forez, moyenne pour le Rovaltain et faible pour la Bièvre.

La présence de cette autocorrélation induit la prise en compte du spatial dans les analyses. Cependant, lors d'une analyse simultanée des trois territoires, prendre en compte le spatial revient à prendre en compte le facteur « territoire ». En effet, les trois territoires sont plus éloignés entre eux que les parcelles inventoriées qu'ils contiennent.

Echelle spatiale : vers le choix d'un modèle à large échelle

Il résulte de l'analyse visuelle cartographique (Figure 8), superposant les parcelles sur les différentes zones tampon, que le buffer 100 mètres est trop petit pour permettre de mettre en avant ce qu'il se passe autour de la parcelle cible. Ce ne serait donc pas une distance à retenir.

Par ailleurs, une distance courte induit la présence d'une plus forte variabilité interannuelle des cultures du fait des rotations réalisées par les agriculteurs. Ainsi, l'utilisation du RPG 2016 pourrait poser problème sur

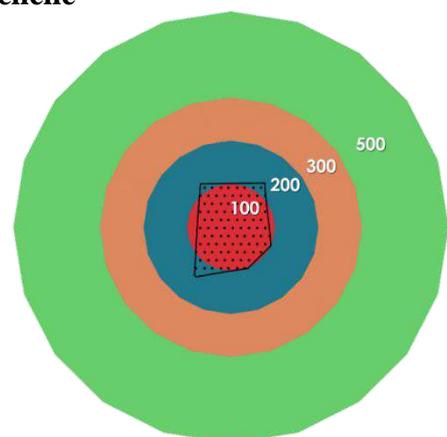


Figure 8 – Schématisation de la parcelle 33 du Rovaltain et des zones tampon qui l'entourent. Elle représente un archétype des parcelles inventoriées

des zones tampon jouant à fine et moyenne échelle (100 à 300 mètres).

Ces éléments de réflexion sont compatibles avec les résultats de la modélisation. Après le calcul des corrélations et la projection des variables paysagères sur une ACP, les variables compositionnelles conservées (listées en ANNEXE I) pour l'analyse sont : le pourcentage de prairies permanentes (PP), le pourcentage de prairies temporaires (PT), le pourcentage de cultures d'hiver (CH) et le pourcentage de cultures de printemps (CP). Pour les variables configurationnelles, seules la surface moyenne des parcelles (MP) présentes dans les zones tampon ainsi que l'ensemble des éléments linéaires (L) sont conservés. Les coordonnées GPS (X et Y - Lambert93) des centroïdes des parcelles sont remplacées par la variable « territoire » (T) dans cette analyse globale. En se basant sur les critères d'AICc, le modèle possédant une zone tampon de 500 mètres semble être le meilleur pour expliquer la richesse que l'on observe dans les parcelles inventoriées (Tableau 1).

Tableau 1 – Résultats de la modélisation comparant la richesse des différentes zones tampon

modèle	déviance	ddl	AICc	Δ AICc
Richesse ~ MP + L + PP + PT + CH + CP + T (500)	75,99	73	367,49	
Richesse ~ MP + L + PP + PT + CH + CP + T (100)	79,93	73	371,44	3,95
Richesse ~ MP + L + PP + PT + CH + CP + T (200)	81,63	73	373,14	5,65
Richesse ~ MP + L + PP + PT + CH + CP + T (300)	83,51	73	375,01	7,52

Ces résultats mènent à utiliser la zone tampon de 500 mètres pour la suite des analyses. La très faible surdispersion du modèle (1,04) indique également que l'erreur de Poisson est adaptée au jeu de données.

Culture de printemps et prairies temporaires : variables jouant sur la richesse

La liste des meilleurs modèles à 500 mètres en prenant les trois territoires simultanément est représentée dans le tableau 2.

Tableau 2 – Résultats de la modélisation comparant la richesse selon les variables de la zone tampon de 500 mètres

modèle	déviante	ddl	AICc	Δ AICc
Richesse ~ PT + CP + T	79,25	77	361,04	
Richesse ~ MP + PT + CP + T	77,41	76	361,53	0,49
Richesse ~ CP + T	82,04	78	361,56	0,52
Richesse ~ MP + CP + T	79,84	77	361,63	0,59
Richesse ~ MP + PP + PT + CP + T	76,00	75	362,52	1,47
Richesse ~ PP + PT + CP + T	78,41	76	362,54	1,49
Richesse ~ MP + PP + PT + T	81,40	76	365,53	1,54
Richesse ~ MP + L + PP + PT + CH + CP + T	75,99	73	367,49	6,45
Richesse ~ 1	107,38	81	380,43	19,39

La variable territoire est systématiquement présente dans les meilleurs modèles. La richesse dans les trois territoires réagit donc différemment face aux éléments paysagers (test de rapport de vraisemblance entre le modèle Richesse ~ 1 et Richesse ~ T : $\chi^2=22,15$; p-value = $1,55 \cdot 10^{-5}$). Le meilleur modèle, indiquant que la richesse varie en fonction des prairies temporaires, des cultures de printemps et du territoire, explique 26,20% de la variabilité observée. 18,54% de cette variabilité est expliquée par la variable « territoire », 2,30% est expliquée par la variable « prairies temporaires » et 3,73% est expliquée par la variable « cultures de printemps ». Ainsi, la présence de prairies temporaires autour des cultures d’hiver favorise la richesse des messicoles (Figure 9 – gauche) et la présence de cultures de printemps est défavorable au développement des messicoles (Figure 9 – droite).

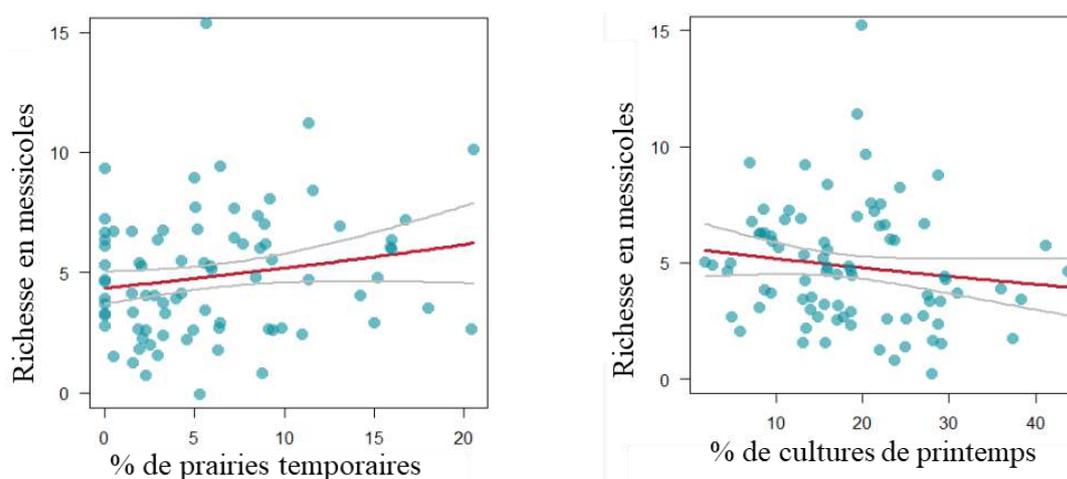


Figure 9 – Représentation du meilleur GLM (Richesse ~ PT + CP + T) sur des graphiques bivariés. La richesse en fonction du pourcentage de prairies temporaires à gauche et la richesse en fonction du pourcentage de cultures de printemps à droite.

Il apparaît important de regarder ce qu’il se passe au sein de chaque territoire en ajoutant dans le modèle les coordonnées GPS (X et Y - Lambert93) des centroïdes des parcelles pour ajouter le spatial dans les modèles. Dans le Rovaltain, les variables du meilleur modèle sont la surface moyenne des parcelles et les cultures de printemps (Figure 10 – A et B). Pour la Bièvre, une ségrégation sur un axe nord-sud (variable Y) semble expliquer la variabilité de la richesse entre les parcelles. Il semblerait qu’il existe trois zones géographiques (Figure 10 – C) ayant probablement des différences en termes de pédoclimat, de pratiques agricoles ou de paysage. Dans le Forez, il semble que ce soit le pourcentage de cultures de printemps (Figure 10 – D) qui explique le mieux la richesse observée.

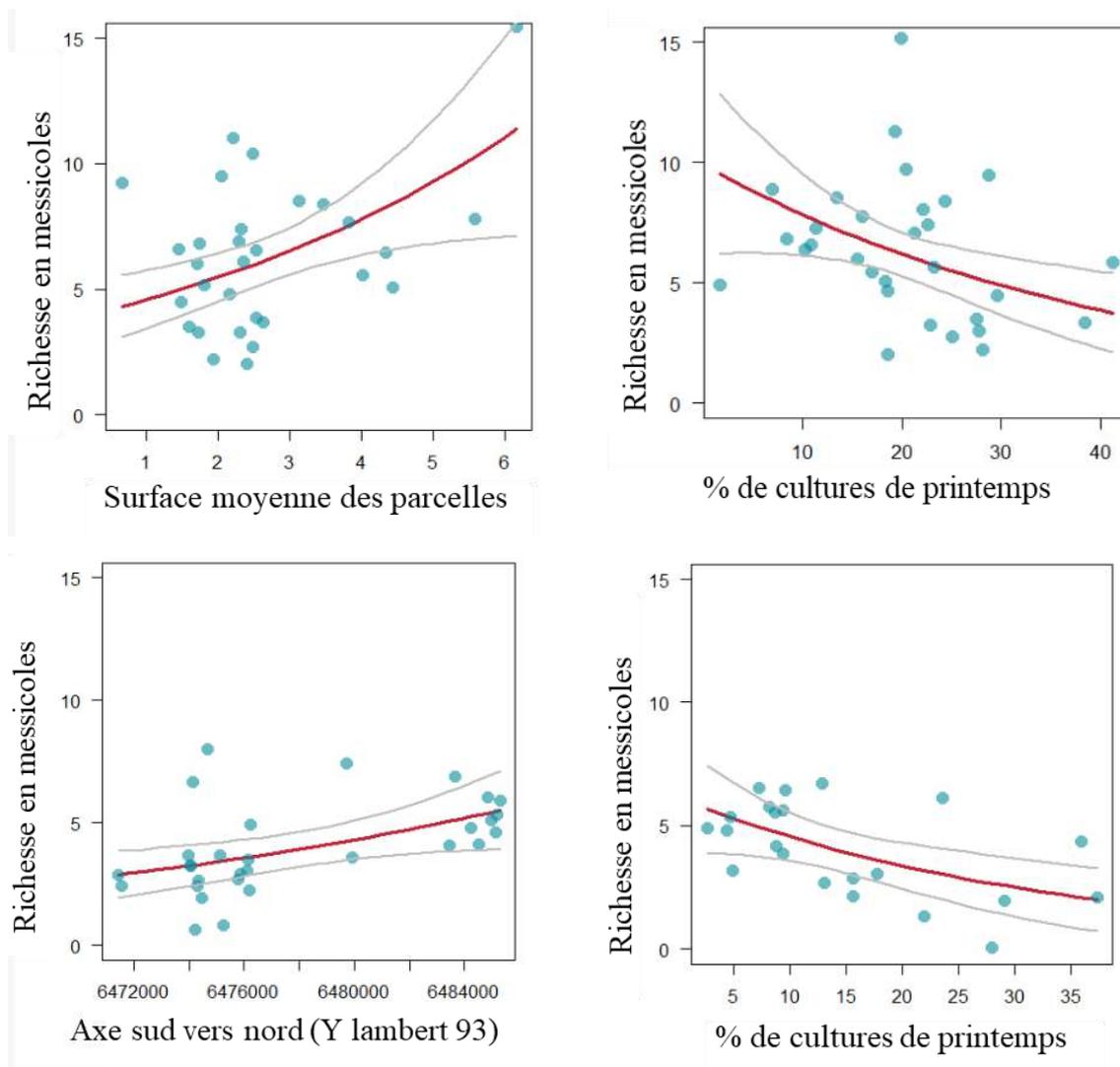


Figure 10 - Représentation du meilleur GLM par territoire sur des graphiques bivariés. Pour le Rovaltain : la richesse en fonction de la surface moyenne des parcelles (A) et la richesse en fonction du pourcentage de cultures de printemps (B). Pour la Bièvre : la richesse en fonction de l’axe Sud-Nord (C). Pour le Forez : la richesse en fonction du pourcentage de cultures de printemps (D).

Ainsi, la variable du pourcentage de cultures de printemps dans la zone tampon de 500 mètres semble être un facteur récurrent impactant négativement la richesse en messicoles.

Assemblages et dissimilarité : prédominance d'une structure spatiale

L'analyse par RDA contrainte des assemblages montre une influence significative de la spatialisation dans le modèle. Pour le Rovaltain, il s'agit de l'axe des X (est-ouest) qui a un impact significatif sur les assemblages ($F=2,23$; $p\text{-value}=0,03$) mais aussi la surface moyenne des parcelles ($F=1,93$; $p\text{-value}=0,03$) et le pourcentage de cultures d'hiver ($F=1,64$; $p\text{-value}=0,05$). Les variables influençant significativement les assemblages dans le Forez sont : l'axe des X ($F=2,78$; $p\text{-value}=0,01$), l'axe des Y ($F=1,83$; $p\text{-value}=0,05$), les cultures de printemps ($F=2,11$; $p\text{-value}=0,02$) et le linéaire ($F=1,79$; $p\text{-value}=0,04$). Pour la Bièvre, l'axe Y semble expliquer les assemblages ($F=3,61$, $p\text{-value}=0,01$), mais aussi le linéaire ($F=2,54$; $p\text{-value}=0,01$), le pourcentage de prairies temporaires ($F=2,26$; $p\text{-value}=0,03$) et la surface moyenne des parcelles ($F=2,13$; $p\text{-value}=0,03$). Les meilleurs modèles sur critères d'AIC sont l'axe des X pour le Rovaltain ($AIC=35,19$), la relation additive entre le linéaire et l'axe des X pour le Forez ($AIC=17,39$) et l'axe des Y pour la Bièvre ($AIC=20,24$). Cependant, il faut noter que ces meilleurs modèles ne sont pas différents du modèle nul sur critère d'AIC (différence d'AIC < 2). Il semble donc difficile de mettre en avant une influence du paysage sur des données d'assemblages.

De la même façon, l'analyse par RDA de la diversité β (dissimilarité d'assemblages entre les parcelles) montre une importance des variables spatiales. Dans le Forez, l'axe des X ($F=4,37$; $p\text{-value}=0,01$), des Y ($F=2,72$, $p\text{-value}=0,03$) et les cultures de printemps ($F=2,37$; $p\text{-value}=0,05$) structurent significativement la diversité β . Le meilleur modèle sur critère d'AIC est la relation additive entre ces 3 variables ($AIC=-50,25$) avec un écart significatif d'AIC avec le modèle nul ($\Delta AIC=3,28$). Pour la Bièvre, l'axe Y agit de manière significative sur la dissimilarité ($F=4,25$; $p\text{-value}=0,01$) ainsi que la surface moyenne des parcelles ($F=2,02$; $p\text{-value}=0,05$), le pourcentage de prairies temporaires ($F=3,02$; $p\text{-value}=0,02$) et le pourcentage de linéaire ($F=2,77$; $p\text{-value}=0,04$). Le meilleur modèle sur critère d'AIC est la relation additive de l'axe Y et de la surface moyenne des parcelles ($AIC=-68,21$) avec un écart significatif d'AIC avec le modèle nul ($\Delta AIC=2,39$). Enfin pour le Rovaltain, ce sont les variables de l'axe des X ($F=2,81$; $p\text{-value}=0,01$) et du pourcentage de cultures d'hiver ($F=2,50$; $p\text{-value}=0,03$) qui agissent de manière significative sur la diversité β . Le meilleur modèle sur critère d'AIC est la

relation additive entre l'axe des X, le pourcentage de culture d'hiver et la surface moyenne des parcelles (AIC=-75,05) avec un écart significatif d'AIC avec le modèle nul (2,06).

DISCUSSION

Composition floristique et paysagère des territoires

Il était attendu que le Forez possède une richesse en messicoles bien supérieure que les deux autres territoires. En effet, les rotations effectuées en polyculture-élevage sont plus favorables aux messicoles que les rotations effectuées en plaines intensives (Grépin, 2012). Cependant, une analyse plus avancée sur la rotation des cultures permettrait de regarder de manière précise la(es) rotation(s) la(es) plus favorable(s) aux messicoles et d'en observer son(ses) utilisation(s) dans les territoires.

Le facteur climatique semble quant à lui expliquer la richesse élevée du Rovaltain (figure 11). En effet, le Rovaltain est fortement influencé par la remontée du climat méditerranéen dans la vallée du Rhône, climat favorable à la biodiversité. La typologie 7 décrite sur la figure est caractérisée par une faible variabilité interannuelle des températures avec une intensité de précipitations plus forte l'été que l'hiver. La Bièvre semble moins impactée par le climat méditerranéen, à cheval entre les climats de type 6 et 4 caractérisés par une forte bi-saisonnalité : un été sec et stable et un hiver humide et variable. Le Forez quant à lui possède un climat océanique dégradé (Type 3) caractérisé par une faible pluviométrie annuelle et peu variable et une forte variabilité des températures. Il est possible de citer quelques exemples comme le Scandix Peigne de Vénus (*Scandix pecten-veneris*), subméditerranéenne (Julve, 1998), présente dans 30% des relevés du Rovaltain et absente de la Bièvre et du Forez. Ou encore, le Mouron Bleu (*Lysimachia foemina*) dont la présence est graduelle sur un axe nord-sud (absente du Forez, 26% dans la Bièvre et 70%

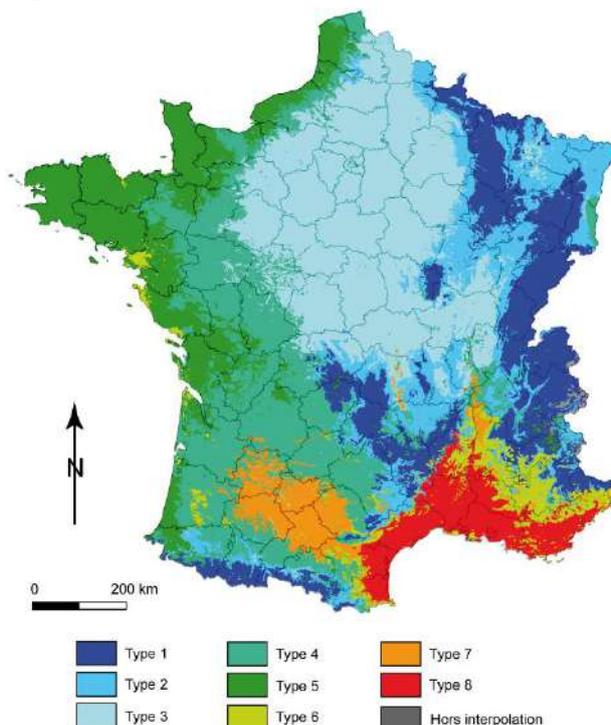


Figure 11 – Cartographie de la typologie des climats français (tiré de Joly et al, 2010)

dans le Rovaltain) et qui est une espèce euryméditerranéenne (Julve, 1998), c'est-à-dire préférant le climat méditerranéen mais susceptible de s'en éloigner.

Agissant à large échelle (entre les territoires) mais également à fine échelle (au sein d'un territoire), la pédologie structure également les assemblages de plantes et le choix des pratiques agricoles. Par exemple, l'Agrostide jouet du vent (*Apera spica-venti*) et la Buglosse des champs (*Lycopsis arvensis*) préfèrent les sols acides (Julve, 1998) et sont toutes deux absentes du Forez.

Il serait intéressant de réaliser une analyse RLQ (Dolédec *et al.*, 1996), capable de faire le lien entre les données d'assemblage des espèces, les variables environnementales (tels que le climat et la pédologie) et les traits des espèces. Cette analyse est proposée et décrite dans le développement méthodologique du stage mais, en l'absence des variables pédologiques, n'a pas été mise en place. Cela permettrait d'obtenir la part de corrélation des traits de vie des espèces dans le jeu de données de la région AURA au regard des variables environnementales.

La répartition des messicoles entre la bande, l'interface ou indifféremment entre les deux est probablement une résultante des pratiques agricoles comme la quantité de phytosanitaires utilisée, la profondeur du labour ou la largeur de l'interface. Dans le Forez, pour lequel une agriculture de polyculture-élevage est dominante, on remarque qu'il y a autant de plantes spécialistes à la bande et à l'interface que d'espèces généralistes. Au contraire, dans les territoires d'agriculture intensive, la richesse exclusive à l'interface est presque inexistante, montrant une dominance d'espèces généralistes. Un schéma tout particulier se dégage dans la Bièvre : les parcelles présentes à l'est ont une richesse en généralistes très forte, avec des richesses spécifiques à la bande et à l'interface faibles mais équivalentes. Les autres parcelles montrent au contraire une forte richesse pour les espèces spécialistes à la bande. Une connaissance plus approfondie du territoire sur les pratiques agricoles exercées dans la Bièvre pourrait permettre d'expliquer le phénomène observé.

Contexte spatial et contexte paysager

Cette étude confirme l'importance de la prise en compte du spatial (présence d'une ACS et RDAC sur la diversité β) dans les analyses de données spatialisées en écologie (Legendre, 1993). Afin de l'étudier, ce sont les coordonnées GPS (Lambert93) des centroïdes des parcelles inventoriées qui ont été utilisées ici. C'est une vision un peu simpliste qui suppose que l'autocorrélation spatiale dans les résidus du modèle s'exprime sous la forme de gradient en X ou en Y. A la place, il pourrait être utilisé un modèle autorégressif (Dorman *et al.*, 2007) qui va

chercher les relations sous la forme d'un voisinage spatial. Cela consiste à relier les parcelles les plus proches entre elles pour les rendre « voisines », et d'utiliser ce lien de proximité comme variable explicative.

Les résultats indiquent que la variation de la richesse en messicoles est plus élevée lorsque les variables du paysage sont mesurées dans un rayon de 500 mètres. Ce résultat va à l'encontre des résultats d'autres études menées sur la flore adventice. En effet, il a été montré que les espèces adventices sont affectées par des variables agissant localement (Marshall *et al.*, 2009) et notamment dans un rayon de 200 mètres (Gaba *et al.*, 2010).

L'hétérogénéité paysagère joue un rôle sur la richesse en messicoles et la diversité β entre les parcelles mais pas sur les assemblages. L'importance de la configuration paysagère et notamment de la surface moyenne des parcelles présentes dans la zone tampon a été montrée dans le Rovaltain. Cependant, pour une zone tampon de même taille, Marshall et ses collaborateurs (2009) n'ont montré aucun effet de la taille des parcelles. De plus, des parcelles de grande taille dans la zone tampon (paysage simple) semblent impacter positivement la richesse dans le Rovaltain. Ce résultat va à l'encontre du concept de mosaïque proposé par Duelli (1997), pour lequel le nombre d'espèces augmente avec la complexification des habitats. Deux variables compositionnelles récurrentes semblent impacter les messicoles : les pourcentages de prairies temporaires et de cultures de printemps. La présence de prairies temporaires agit positivement sur les messicoles alors que la présence de cultures de printemps agit négativement. Cela est cohérent avec l'écologie des messicoles. En effet, les prairies temporaires sont des surfaces de production d'herbes qui sont présentes depuis moins de 5 années, elles représentent donc des milieux perturbés. Les messicoles étant plus compétitives dans ce type de milieux, les prairies temporaires forment donc des éléments paysagers favorables à leur maintien. Par ailleurs, les messicoles possèdent un cycle biologique à germination hivernale qui concorde avec la date de semis des cultures de céréales d'hiver. De ce fait, la présence de cultures de printemps, dont le sol est travaillé à une période différente, ne favorise pas la germination des messicoles et freine leur capacité de développement. La période de germination des graines est en effet déterminante pour la composition floristique (Lavorel *et al.*, 1993). Les assemblages ne semblent pas être structurés significativement par le spatial et les variables paysagères. L'utilisation des assemblages comme variable réponse ne semble finalement pas pertinente du fait de la coexistence d'espèces rares et d'espèces fréquentes, pour lesquelles il est difficile de sélectionner les variables paysagères les plus importantes dans des méthodes multivariées.

L'utilisation du RPG 2016 peut engendrer un biais sur les conclusions de la méthodologie employée sur les données de 2017. Il faudrait pouvoir reprendre cette analyse avec le bon RPG, qui devrait-être disponible d'ici fin 2018. De plus, les courbes d'accumulation montrent que le pool d'espèces dans chacun des territoires n'a pas été atteint, notamment dans le Forez et le Rovaltain. Il serait donc important de réaliser l'étude en ajoutant les parcelles inventoriées en 2018 en prenant les variables paysagères à partir de la couche OSCOM et du RPG 2018. Reproduire la méthodologie décrite dans ce rapport sur les deux années d'études pourrait permettre de confirmer ou d'invalider l'importance des variables mises en évidence dans cette analyse.

Des mesures de conservation sont-elles envisageables ?

Les mesures de conservation pourront être proposées une fois l'analyse réalisée sur les années 2017 et 2018. En effet, la prise en compte de l'ensemble des analyses devrait permettre de lister les espèces à fort enjeu de conservation selon par exemple leur statut IUCN et leur fréquence dans la région. Cela nécessiterait donc de réaliser une sélection d'espèces et d'effectuer l'étude non pas sur les assemblages ou la richesse spécifique mais sur autant de variables que d'espèces sélectionnées prises indépendamment sous la forme de présence/absence. Réaliser l'analyse en se focalisant sur une espèce pourrait notamment permettre de comprendre pourquoi le Mouron bleu (*Lysimachia foemina*), le Miroir de Vénus (*Legousia speculum-veneris*) ou encore le Torilis des champs (*Torilis arvensis*) sont tous trois absents du Forez.

Pour les messicoles, deux types de conservation sont envisageables. La conservation *ex situ*, qui consiste à la création d'une banque de graines conservée en laboratoire. Il s'agit d'ores et déjà d'une mission des CBN que de stocker des graines représentatives des populations de chaque espèce de plantes. La conservation *in situ*, qui consiste à mettre en place une gestion adaptée dans l'optique de préserver la diversité floristique. Diverses solutions sont alors possibles comme des mesures de réensemencement de graine sans les trier, le maintien des céréales à paille d'hiver dans les plaines agricoles, la réduction de l'utilisation des phytosanitaires, la réalisation de labours peu profonds ou encore la mise en place des rotations courtes de cultures. Cependant, en réponse à cette étude sur le paysage, ce sont surtout des mesures de gestion des paysages agricoles relatives à la composition mais aussi à la configuration du parcellaire qui devront être proposées.

Vers de nouvelles variables ?

La composition des communautés floristiques dépend de nombreux paramètres, comme vu précédemment. Outre le paysage et le spatial, d'autres facteurs mériteraient d'être étudiés. C'est le cas de la pédologie et de la rotation des cultures.

Les informations relatives à l'abondance n'ont pas été prises en compte lors de ce stage. Pourtant, l'abondance serait une information complémentaire qui permettrait d'étudier l'indice de Shannon qui est une mesure de diversité prenant en considération la richesse spécifique et l'abondance de chaque espèce. Cependant, le protocole mis en place limite l'emploi de l'abondance puisque les 4 zones inventoriées sur les 2 transects peuvent avoir des valeurs différentes d'abondance pour une seule et même espèce. De plus, les classes d'abondance choisies ne suivent pas une évolution linéaire : la première de 0 à 10 individus, la seconde de 10 à 100 individus, la troisième de 100 à 1000 individus et la dernière pour plus de 1000 individus. Il serait possible d'essayer de moyenniser ou sommer ces valeurs d'abondance pour n'avoir qu'une seule classe de valeurs par parcelle. Il serait intéressant d'en discuter avec les CBN qui appliquent le protocole sur le terrain pour trouver la méthode la plus réaliste. Cela permettrait d'obtenir une nouvelle variable réponse qui serait la diversité de Shannon, analysable comme la variable de richesse spécifique à l'aide d'un GLM.

Il pourrait être intéressant d'utiliser de nouvelles variables paysagères explicatives. Pour les variables configurationnelles, le mètre linéaire faisant le contour des unités paysagères dans la zone tampon serait une variable intéressante ainsi que le nombre d'unités paysagères différentes dans la zone tampon. Ces variables apporteraient une information sur l'utilisation des interfaces par ces espèces mais également une information sur l'importance d'un paysage plutôt homogène (nombre d'unités paysagères faible) ou d'un paysage hétérogène (nombre d'unités paysagères fort) pour favoriser la présence de ces espèces. La fécondité des messicoles est variable suivant les espèces, un pied de Nielle des blés (*Agrostemma githago*) par exemple produit environ 200 graines alors qu'un pied de Coquelicot (*Papaver rhoeas*) peut produire jusqu'à 20 000 graines. La longévité de ces graines dans le sol est également variable, de 1 à 2 ans pour la Nielle et plus de 50 ans pour la Pensée des champs (*Viola arvensis*). Les assemblages de graines se forment également en fonction de ces caractéristiques, rendant la variable rotation des cultures comme importante à prendre en compte. Ainsi, il serait intéressant de rajouter deux variables compositionnelles : la culture présente sur la parcelle l'année n-1 et celle de l'année n-2.

CONCLUSION

Le travail effectué lors de ce stage a été très instructif. J'ai pu découvrir les avantages du travail multi-partenarial mais aussi les difficultés que cela peut occasionner. En effet, étudier des données déjà récoltées nécessite un grand travail en amont sur la compréhension des protocoles, et d'adapter la méthodologie d'analyse en fonction de ce qui a été fait. De plus, les données proviennent de deux CBN et cela a nécessité un lourd travail de nettoyage des tableurs pour obtenir des données homogènes. Le travail de vulgarisation pour communiquer des résultats synthétiques sur l'avancée de la CPO à la région (ANNEXE III) a été également formateur.

L'objectif premier du stage est de proposer une méthodologie d'analyse pour l'étude de la flore messicole de la région AURA dans le cadre de la CPO « perméabilité des espaces agricoles ». L'analyse des résultats permet de mettre en évidence les points forts et les points faibles de la méthodologie proposée et de réaliser des propositions pour l'améliorer. Les résultats obtenus pour 2017, répondant aux différentes problématiques, sont à relativiser, puisque la couche du RPG utilisée est celle de 2016 et non de 2017. De plus, les relevés floristiques de 2018 sont à intégrer pour obtenir des résultats plus robustes.

A partir des résultats finaux, des mesures de conservation *in situ* pourront être proposées en accord avec les pratiques agricoles locales, ainsi qu'une liste des espèces les plus menacées en région AURA. Le lien avec les autres taxons étudiés (i.e. arthropodes et oiseaux) dans cette CPO sera un apport non négligeable pour proposer des mesures de conservation globales favorisant l'ensemble de la biodiversité des plaines agricoles régionales.

Bibliographie

Aboucaya, A., Jauzein, P., Vinciguerra, L., & Virevaire, M. (2000). Plan National d'Action pour la conservation des plantes messicoles. Rapport final. Ed. Direction de la Nature et des Paysages, Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement, 1-50.

Affre, L., Dutoit, T., Jaëger, M., & Garraud, L. (2003). Écologie de la reproduction, de la dispersion et structure génétique chez les espèces messicoles: propositions de gestion dans le Parc naturel régional du Luberon. *Les Actes du BRG*, 4, 405-428.

Akaike, H. (1998). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In *Selected papers of hirotugu akaike* (pp. 199-213). Springer, New York, NY.

Amsallem, J., Deshayes, M., & Bonneville, M. (2010). Analyse comparative de méthodes d'élaboration de trames vertes et bleues nationales et régionales. *Sciences Eaux & Territoires*, (3), 40-45.

Barton, K., & Barton, M. K. (2018). Package 'MuMIn'.

Dolédec, S., Chessel, D., Ter Braak, C. J. F., & Champely, S. (1996). Matching species traits to environmental variables: a new three-table ordination method. *Environmental and Ecological Statistics*, 3(2), 143-166.

Dormann, C., McPherson, J., Araújo, M., Bivand, R., Bolliger, J., Carl, G., ... & Kühn, I. (2007). Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography*, 30(5), 609-628.

Dray, S., Blanchet, G., Borcard, D., Guenard, G., Jombart, T., Larocque, G., ... & Dray, M. S. (2017). Package 'adespatial'.

Duelli, P. (1997). Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: an approach at two different scales. *Agric. Ecosys. Environ.* 62, 81-91.

Fischesser, B., Dupuis-Tate, M. F. (2017). *Le guide illustré de l'écologie*. Ed. Delachaux et Niestlé.

Fried, G., Petit, S., Dessaint, F., & Reboud, X. (2009). Arable weed decline in Northern France: crop edges as refugia for weed conservation?. *Biological Conservation*, 142(1), 238-243.

Fried G., Petit S., Reboud X., (2010). A specialist-generalist classification of the arable flora and its response to changes in agricultural practices. *BMC Ecology, OpenSource e-10*, 20.

Gaba, S., Chauvel, B., Dessaint, F., Bretagnolle, V., & Petit, S. (2010). Weed species richness in winter wheat increases with landscape heterogeneity. *Agriculture, ecosystems & environment*, 138(3-4), 318-323.

Grépin, N. (2012). Des mauvaises herbes aux messicoles, prendre en compte la biodiversité dans les cultures : Fiches techniques. Réseau messicoles.

Gibbons, D. W., Bohan, D. A., Rothery, P., Stuart, R. C., Haughton, A. J., Scott, R. J., ... & Firbank, L. G. (2006). Weed seed resources for birds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 273(1596), 1921-1928.

Godinho, I. (1984). Les définitions d'adventicee'et de 'mauvaise herbee'. *Weed research*, 24(2), 121-125.

Hawes, C., Haughton, A. J., Osborne, J. L., Roy, D. B., Clark, S. J., Perry, J. N., ... & Dewar, A. M. (2003). Responses of plants and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 358(1439), 1899-1913.

Hurvich, C. M. and Tsai, C.-L. (1989) Regression and time series model selection in small samples, *Biometrika* 76: 297–307.

Hyvönen, T., Ketoja, E., Salonen, J., Jalli, H., & Tiainen, J. (2003). Weed species diversity and community composition in organic and conventional cropping of spring cereals. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97(1-3), 131-149.

Jauzein, P. (1995). Flore des champs cultivés (No. 3912). Editions Quae.

Joly, D., Brossard, T., Cardot, H., Cavailles, J., Hilal, M., & Wavresky, P. (2010). Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

Julve, P. H. (1998). Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France. Institut Catholique de Lille, Lille.

Krebs, J.R., Wilson, J.D., Bradbury, R.B., Siriwardena, G.M. (1999). The second Silent Spring? *Nature* 400, 611–612.

Landolt, E., Bäumler, B., Erhardt, A., Hegg, O., Klötzli, F., Lämmli, W., ... & Urmi, E. (2010). Flora indicativa—Ecological indicator values and biological attributes of the flora of Switzerland and the Alps. Haupt, Bern, Switzerland.

Lavorel, S., Debussche, M., Lebreton, J. D., & Lepart, J. (1993). Seasonal patterns in the seed bank of Mediterranean old-fields. *Oikos*, 114-128.

Legendre, P., & Legendre, L. (2012). Complex ecological data sets. In *Developments in environmental modelling* (Vol. 24, pp. 1-57). Elsevier.

Legendre, P. (1993). Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm?. *Ecology*, 74(6), 1659-1673.

Loreau, M., Mouquet, N., & Gonzalez, A. (2003). Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(22), 12765-12770.

Marshall, E. J. P., Brown, V. K., Boatman, N. D., Lutman, P. J. W., Squire, G. R., & Ward, L. K. (2003). The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed research*, 43(2), 77-89.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute, Washington, DC, USA.

Moran, P. A. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1/2), 17-23.

Moreby, S. J., Aebischer, N. J., Southway, S. E., & Sotherton, N. W. (1994). A comparison of the flora and arthropod fauna of organically and conventionally grown winter wheat in southern England. *Annals of applied Biology*, 125(1), 13-27.

Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, D. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. New York, NY: Wiley.

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'hara, R. B., ... & Oksanen, M. J. (2013). Package 'vegan'. *Community ecology package*, version, 2(9).

Olivereau, F. (1996). Les plantes messicoles des plaines françaises. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 28(28), 5-18.

Richard, J. F. (1975). Paysages, écosystèmes, environnement: une approche géographique. *L'espace géographique*, 81-92.

Roschewitz, I., Gabriel, D., Tschardtke, T., & Thies, C. (2005). The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *Journal of Applied Ecology*, 42(5), 873-882.

Ryszkowski, L. (Ed.). (2001). *Landscape ecology in agroecosystems management*. CRC Press.

Stoate, C., Boatman, N. D., Borralho, R. J., Carvalho, C. R., De Snoo, G. R., & Eden, P. (2001). Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of environmental management*, 63(4), 337-365.

Teer Braak, C. J. F. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67, 60-71.

Thioulouse, J., Chessel, D., Dole, S., & Olivier, J. M. (1997). ADE-4: a multivariate analysis and graphical display software. *Statistics and computing*, 7(1), 75-83.

Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671–677.

Van Den Wollenberg, A. L. (1977). Redundancy analysis an alternative for canonical correlation analysis. *Psychometrika*, 42(2), 207-219.

Wei, T., & Wei, M. T. (2017). Package ‘corrplot’. *Statistician*, 56, 316-324.

Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 213-251.

Wickham, H. (2016). reshape2: Flexibly reshape data: a reboot of the reshape package, version 1.4. 2. See <https://cran.r-project.org/web/packages/reshape2/index.html>.

Webographie

Auvergne-Rhône-Alpes, DREAL, 2014. « SRCE Rhône-Alpes ». [en ligne] Consulté le 7 février 2018. <http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/srce-rhone-alpes-a10983.html>.

CPO thématique : amélioration de la connaissance sur la perméabilité des espaces agricoles
–Description technique, 26 p. [en ligne] Consulté le 7 février 2018.
<http://biodiversite.rhonealpes.fr/documents/CPO%20thematique%20espaces%20agricoles.pdf>

Food and Agriculture Organisation of the United Nations. 2017. Base de données. [en ligne]
Consulté le 14 février 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.

 OBJECTIFS

L'objectif de cette chaîne de traitement SIG est de récupérer les informations relatives à l'hétérogénéité paysagère autour des parcelles inventoriées. Plusieurs étapes sont réalisées : (1) création de zones tampon de 100, 200, 300 et 500 mètres autour du centre des parcelles sur la couche d'Occupation des Sols à l'échelle COMMunale (OCSOM) et la couche RPG 2016, (2) Différence entre les zones tampon OSCOM et zones tampon RPG 2016, (3) Fusion de la différence avec le RPG 2016 pour obtenir des zones tampon sans zones vides, (4) récupération des informations compositionnelles à partir des zones tampon fusionnées et (5) récupération des information configurationnelles à partir du RPG 2016.

 COUCHES ET OUTILS
**Fichiers d'entrée**

Coordonnées parcelles
Couche OCSOM
Couche RPG 2016

**Fichiers temporaires**

Centroïdes des parcelles
Zones tampon issues de la fusion
OCSOM/RPG et RPG seule pour
les différents rayons

**Fichiers de sortie**

Classeur Excel (variables
compositionnelles et variables
configurationnelles).

**Outils utilisés**

Centroïdes
Zone tampon fixe
Intersection
Différence
Nettoyage manuel des tables
attributaires
Manipulations des données
sous Excel

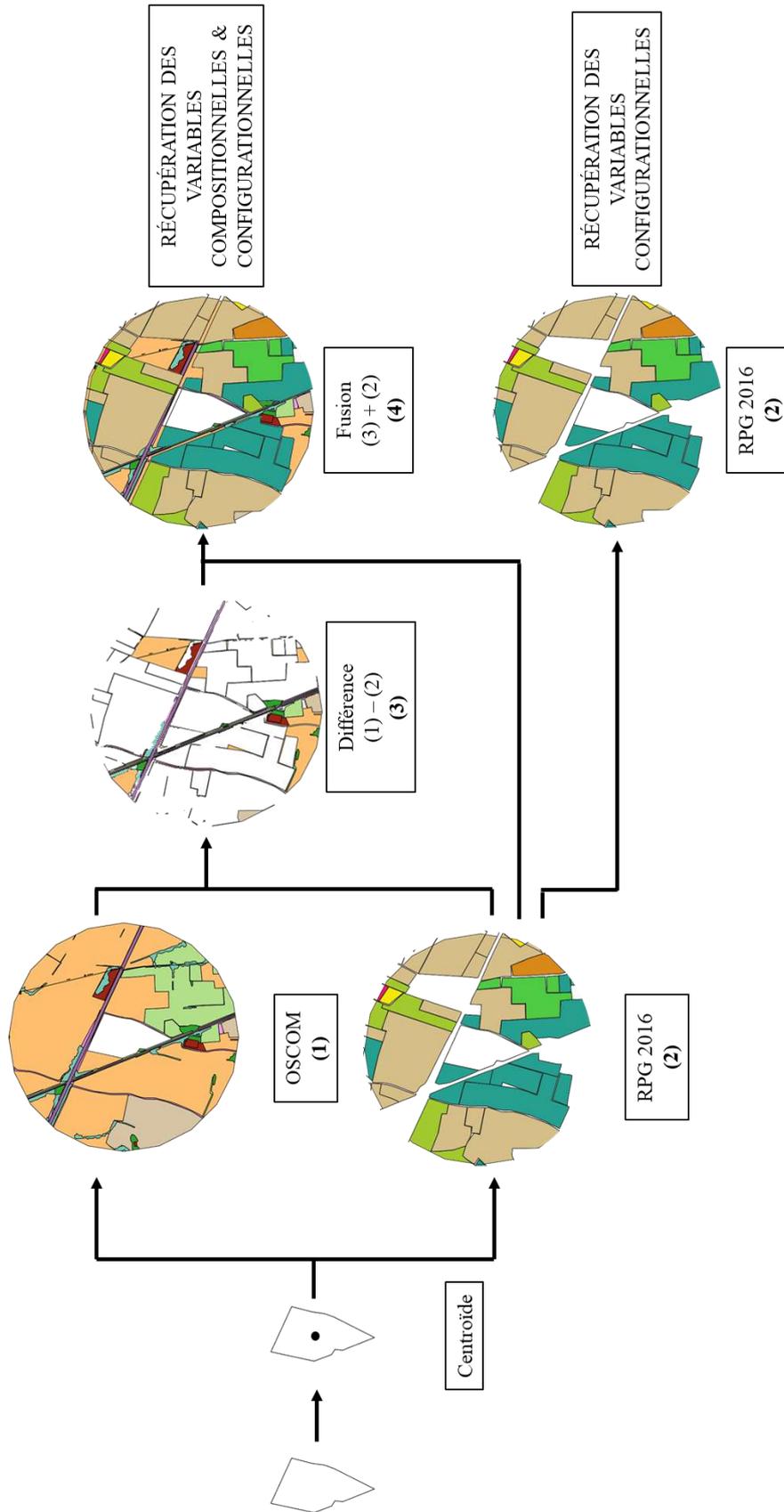


Figure I - Schématisation de la chaîne de traitement pour l'échelle spatiale de 500 mètres de rayon pour la parcelle 34 de la Bièvre

Variable	Couche d'origine	Dénomination couche	Dénomination finale	
C O M P O S I T I O N N E L L E S	OSCOM	Prairies	Prairies permanentes (PP)	
	RPG	Prairies temporaires	Prairies temporaires (PT)	
	RPG	Prairies permanentes	Prairies permanentes (PP)	
	RPG	Fourrage	Prairies temporaires (PT)	
	OSCOM	Forêts	Forêts (F)	
	OSCOM	Zones urbanisées	Zone anthropisée (ZA)	
	OSCOM	Carrières	Zone anthropisée (ZA)	
	OSCOM	Zones industrielles ou commerciales	Zone anthropisée (ZA)	
	OSCOM	Non déterminé	Zone anthropisée (ZA)	
	OSCOM	A bâtir	Zone anthropisée (ZA)	
	OSCOM	Surfaces en eau	Eau (E)	
	RPG	Blé tendre	Cultures d'hiver (CH)	
	RPG	Orge	Cultures d'hiver (CH)	
	RPG	Autres céréales	Cultures d'hiver (CH)	
	RPG	Colza	Cultures d'hiver (CH)	
	RPG	Maïs grain et ensilage	Cultures de printemps (CP)	
	RPG	Tournesol	Cultures de printemps (CP)	
	RPG	Protéagineux	Cultures de printemps (CP)	
	RPG	Autres oléagineux	Cultures de printemps (CP)	
	RPG	Légumes ou fleurs	Autres surfaces agricoles (ASA)	
	RPG	Gel	Autres surfaces agricoles (ASA)	
	RPG	Divers	Autres surfaces agricoles (ASA)	
	OSCOM	Zone agricole hétérogène	Autres surfaces agricoles (ASA)	
	RPG	Vergers	Vergers (V)	
	RPG	Fruits à coque	Vergers (V)	
	RPG	Vignes	Vergers (V)	
	OSCOM	Cultures permanentes	Vergers (V)	
	CON- FIGU- RA- TION- NELLES	OSCOM	Milieu à végétation arbustive ou herbacées	Linéaire végétal (LV)
		OSCOM	Cours d'eau	Linéaire d'eau (LE)
		OSCOM	Réseau de communication	Linéaire routier (LR)
RPG		<i>Calcul table attributaire</i>	Surface moyenne des parcelles dans la zone tampon (SM)	
RPG		<i>Calcul table attributaire</i>	Nombre de parcelles dans la zone tampon (NP)	

ANNEXE II – LISTE DES ESPECES ET LEUR PRESENCE PAR PARCELLE



ZOOM SUR LES PLAINES AGRICOLES DE LA RÉGION AURA

Les paysages agricoles sont-ils favorables à la flore patrimoniale ?



1

Résumé des résultats du stage de **Morgane Curial** (Master 2 EEGB) sous la tutelle de **Benoît Sarrazin** (enseignant-chercheur à l'ISARA), 2018 et en collaboration avec **Ludovic Bouquier** (CEN Rhône-Alpes), **Ornella Kristo**, **Lucile Vahé**, **David Paulin** (CBN Alpin) et **Lisa Favre-Bac** (CBN Massif-Central).

Lutter contre la perte de biodiversité des espaces agricoles

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, on assiste à un changement des pratiques agricoles. On est passé en effet d'une agriculture de subsistance avec de petites exploitations à une agriculture intensive dont le but est de gagner en rendement. La taille des parcelles augmente, les haies sont supprimées et l'utilisation de pesticides devient monnaie courante. En conséquence, les écosystèmes agricoles européens ont vu leur biodiversité diminuer (Krebs *et al.*, 1999 ; Stoate *et al.*, 2001 ; Tilman *et al.* 2002).

Dans le but de concilier biodiversité, agriculture et aménagement, la région Auvergne-Rhône-Alpes finance une Convention Pluriannuelle d'Objectifs (CPO) dans le cadre de son Schéma Régional de Cohérence Ecologique (SRCE). L'un de ses objectifs est d'améliorer les connaissances sur la perméabilité biologique des grands espaces agricoles de la région pour trois taxons : les oiseaux, les arthropodes et les plantes. Deux grandes actions sont mises en avant pour répondre à cet objectif :

- Action 1 : Définir la composition et l'organisation spatiale des paysages agricoles et de la biodiversité
- Action 2 : Étudier plus précisément les relations entre la biodiversité et le paysage

La flore patrimoniale : comment la définir ?

Au cœur et abords des cultures, de nombreuses espèces de plantes, appelées adventices, ou plus vulgairement « mauvaises herbes », s'installent. Elles constituent des

Les paysages agricoles sont-ils favorables à la flore patrimoniale ?



ressources primaires importantes pour les oiseaux (Gibbons *et al.*, 2006) et les insectes (Hawes *et al.*, 2003).

Parmi celles-ci, se forme un groupe de plantes inféodé aux cultures de céréales à paille (orge, blé, triticale...). On les nomme messicoles, du latin « messis » : moisson et « colo » : habiter. Ce sont des espèces patrimoniales dont les listes sont établies par les Conservatoires Botaniques Nationaux (CBN). En Auvergne-Rhône-Alpes, deux listes ont été établies par le CBN Alpin et le CBN Massif Central.

Comment répondre aux deux actions pour la flore ?

2

Les CBN ont réalisé deux types d'inventaire floristique sur des parcelles de céréales à paille entre 2016 et 2018. Onze territoires de la région ont ainsi été inventoriés, permettant à l'ISARA Lyon de réaliser une première étude descriptive et statistique sur les données de l'année 2017.

Parmi les deux types d'inventaire sur des cultures de céréales à paille d'hiver, l'un étudie les onze territoires pour répondre à l'action 1 et le second étudie trois de ces territoires pour répondre à l'action 2.

Lors de ce stage, seule une analyse descriptive des données de biodiversité pour l'action 1 a été proposée. Une analyse descriptive ainsi qu'une analyse statistique ont été réalisées pour l'action 2.

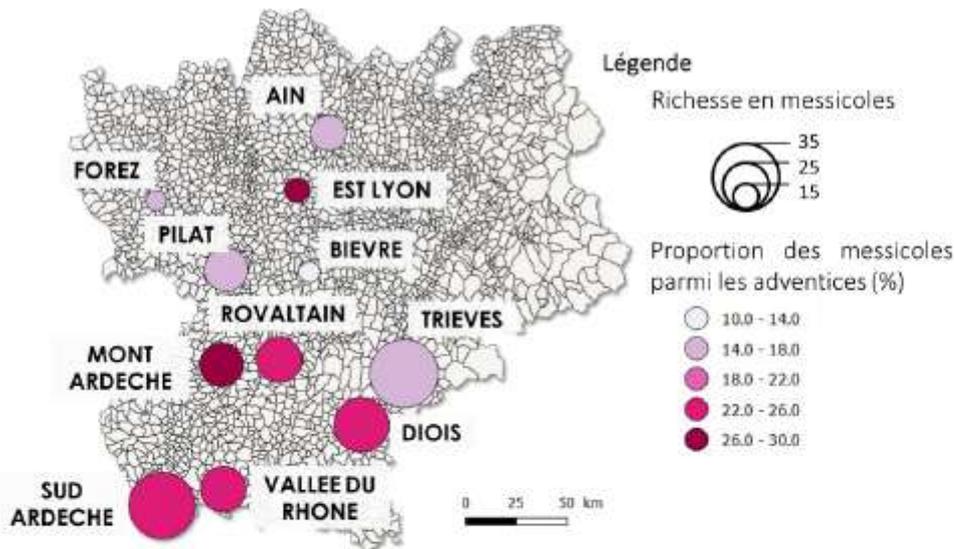
Action 1 : organisation de la flore au niveau régional

Trois années ont fait l'objet d'un relevé phytosociologique pour l'action 1 : 2016, 2017 et 2018. Les résultats présentés ici sont issus des inventaires de 2017 réalisés sur 480 parcelles.

Au total, 69 espèces messicoles ont été inventoriées en 2017 sur les 121 listées à l'échelle régionale. Ces espèces se répartissent différemment suivant le territoire. Dans la figure 1, on constate en effet que les proportions de messicoles par rapport aux espèces adventices (variable de couleur) varient. Globalement, les plaines agricoles les plus intensives (Forez, Bièvre, Rovaltain, Ain et Est-Lyon) possèdent de faibles proportions de messicoles alors que les autres secteurs agricoles possèdent de fortes proportions de messicoles. Deux exceptions semblent ressortir : l'est-lyonnais (28%) et le Rovaltain (23%). Ce sont généralement les plaines les moins intensives (Sud-Ardèche, Mont-Ardèche, Diois, Triève, Vallée du Rhône, Pilat) qui possèdent le plus d'espèces messicoles (richesse spécifique : taille des cercles). Une exception apparaît : le Rovaltain. Ces informations seraient à mettre en relation avec les pratiques agricoles, le climat et la pédologie qui structurent fortement la flore (Fried *et al.*, 2010).

Les paysages agricoles sont-ils favorables à la flore patrimoniale ?





3

Figure 1 – Carte de l’ancienne région Rhône-Alpes représentant à la fois la richesse en messicoles (taille des cercles) et la proportion de ces messicoles parmi les adventices dans les 11 territoires de l’action 1.

Ces résultats ne sont cependant pas complets. En effet, les inventaires de 2017 ne semblent pas encore suffisants pour atteindre le pool maximal d’espèces messicoles existant dans chacun des territoires. C’est ce que montrent les courbes d’accumulation sur la figure 2. Sur ce type de courbes, dès lors qu’un plateau est atteint (fin de la courbe horizontale), cela

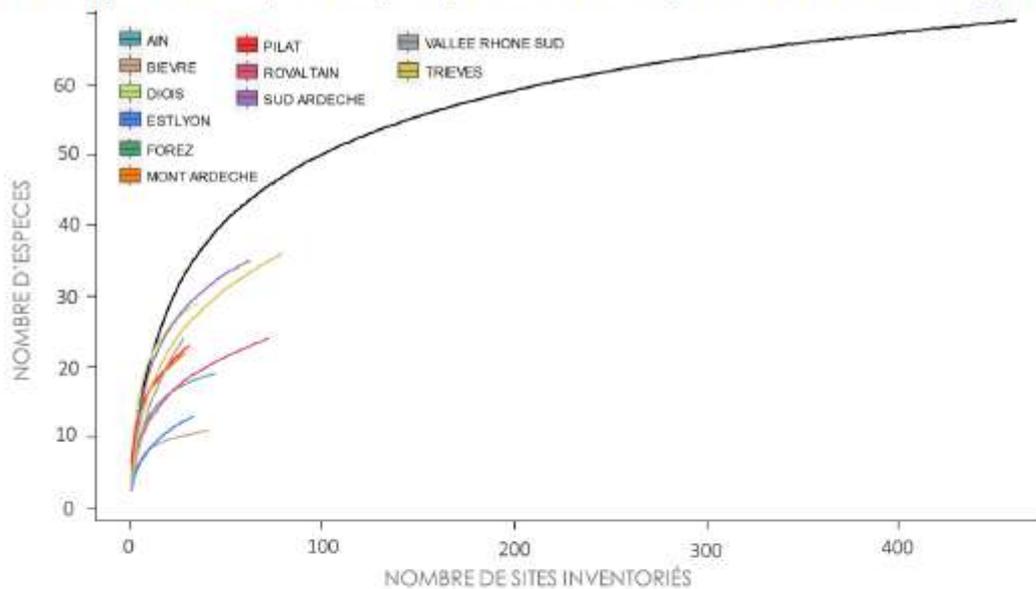


Figure 2 – Courbe d’accumulation lissée des espèces messicoles par parcelle sur les inventaires 2017. Le trait de couleur correspond à la moyenne d’accumulation des espèces obtenue par permutation de l’ordre d’ajout des parcelles (Gobelli & Colwell, 2001, R library vegan). Les 11 territoires sont chacun représentés en couleur et le trait noir représente l’ensemble des territoires.

Les paysages agricoles sont-ils favorables à la flore patrimoniale ?



signifie que le nombre total d'espèces dans le territoire est atteint. En 2017, aucun des territoires ne semble atteindre ce plateau. C'est pourquoi il serait intéressant de rajouter les données 2016 et 2018 afin de pouvoir faire des conclusions sur l'état floristique des différents territoires.

Chaque territoire possède son pool d'espèces qui lui est propre et la fréquence de ces espèces est variable. Le Coquelicot (à gauche - *Papaver rhoeas*), est l'espèce messicole la plus fréquente dans les 480 inventaires. Elle est présente dans 65 % de ces parcelles. Le Buplèvre à feuilles rondes (à droite - *Bupleurum rotundifolium*) est quant à lui présent dans seulement 6% des inventaires. Il s'agit d'une espèce rare inscrite comme « en danger » sur la liste rouge régionale de l'IUCN. Il est également à noter la forte fréquence d'une espèce non messicole présentant un intérêt sanitaire au niveau régional : l'ambrosie (à gauche - *Ambrosia artemisiifolia*). Cette espèce invasive et très allergène est présente dans 40% des inventaires de la région.



4

Avec l'ajout des données de 2016 et 2018, l'effort d'échantillonnage devrait être suffisant pour rédiger une liste d'espèces régionale à enjeu avec des propositions de mesures de conservation compatibles avec les pratiques agricoles en place. Cette action 1 sera à mettre en relation avec les résultats de l'action 2.

Action 2 : part du spatial et relation paysage/flore

Les relevés floristiques pour cette action se sont déroulés sur deux années : 2017 et 2018. Le protocole s'inspire du projet CASDAR messicoles et consiste à réaliser quatre relevés par parcelle : deux de 400 m² sur une largeur de 4 mètres dans la culture de céréale à paille d'hiver (appelés bandes) et deux de 50 m² au bord de la culture (appelés interfaces). Le protocole est détaillé dans le mémoire scientifique du stage (Curial, 2018). La méthodologie employée pour extraire les variables paysagères sont également détaillées dans ce rapport.

Ce protocole a permis l'inventaire de 22 parcelles dans le Forez, 30 dans la Bièvre et 30 dans le Rovaltain. 39 espèces messicoles différentes ont été observées,

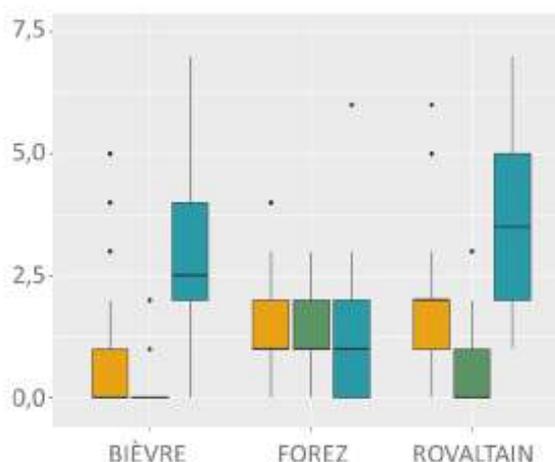


Figure 3 - Représentation sous forme de boîtes à moustache de la richesse en messicoles par territoire (Bièvre, Forez et Rovaltain) selon la préférence des espèces entre la bande (orange), l'interface (vert) ou l'indifférence entre les deux (bleu).

Les paysages agricoles sont-ils favorables à la flore patrimoniale ?



dont 16 pour le Forez, 14 pour la Bièvre et 30 pour le Rovaltain. Le Rovaltain et la Bièvre, territoires dans lesquels l'agriculture intensive est pratiquée présentent une plus forte richesse en espèces généralistes dont la présence entre la bande ou l'interface est indifférentes (figure 3). Pour ces mêmes territoires, très peu d'espèces sont présentes exclusivement dans l'interface. Un schéma tout autre s'observe dans le Forez pour lequel l'agriculture en polyculture-élevage est pratiquée : il existe autant d'espèces généralistes que d'espèces spécialistes à la bande ou à l'interface. Ces résultats suggèrent qu'il existe des différences entre ces territoires et probablement en liaison avec les pratiques agricoles menées sur les divers territoires.

Tout comme pour l'action 1, le Coquelicot (*Papaver rhoeas*) est l'espèce la plus fréquente sur les trois territoires, à hauteur de 85,54% des parcelles inventoriées. Certaines espèces sont abondantes dans la Bièvre et le Rovaltain et absentes du Forez : le Mouron bleu (*Lysimachia foemina*), le Miroir de Vénus et le Torilis des champs (*Torilis arvensis*). Une autre est au contraire fréquente dans le Forez et absente des deux autres territoires : le Bleuets (*Cyanus segetum*). Ces différences que l'on observe entre les territoires pourraient être mises en relation avec le climat et la pédologie dans une analyse ultérieure.

Les paysages observés sur un rayon de 500 mètres autour des cultures inventoriées peuvent être répartis en quatre catégories de composition et trois catégories de configuration (figure 4). On observe ainsi que les catégories de paysages ne se structurent pas de la même façon selon le territoire que l'on observe. Le Forez possède beaucoup de parcelles dont le paysage est dominé par des prairies permanentes et des parcelles de grande taille alors que le Rovaltain possède plutôt des parcelles de surface moyenne variable et dont le paysage est dominé par des cultures (« cultures », « prairies temporaires et cultures d'hiver »). La Bièvre quant à elle possède une seule parcelle représentant la catégorie « prairies temporaires et cultures d'hiver » et toutes les parcelles situées en dehors de sa délimitation sont dominées par la présence d'éléments naturels. Il semblerait que ces zones soient hors secteur d'agriculture intensive ce qui peut mener à une mauvaise interprétation des résultats. Il serait envisageable de les retirer pour des analyses ultérieures.

Les analyses statistiques menées lors de ce stage ont montré la présence d'une autocorrélation spatiale positive signifiant que les sites proches ont tendance à plus se ressembler que les sites éloignés.

L'analyse statistique faisant le lien entre la richesse spécifique en messicoles et le paysage montre différents résultats. Si l'on s'intéresse aux trois territoires simultanément, le pourcentage de prairies temporaires dans une zone de 500 mètres autour du centre des parcelles ferait augmenter la richesse en messicoles alors que le pourcentage de cultures de

Les paysages agricoles sont-ils favorables à la flore patrimoniale ?



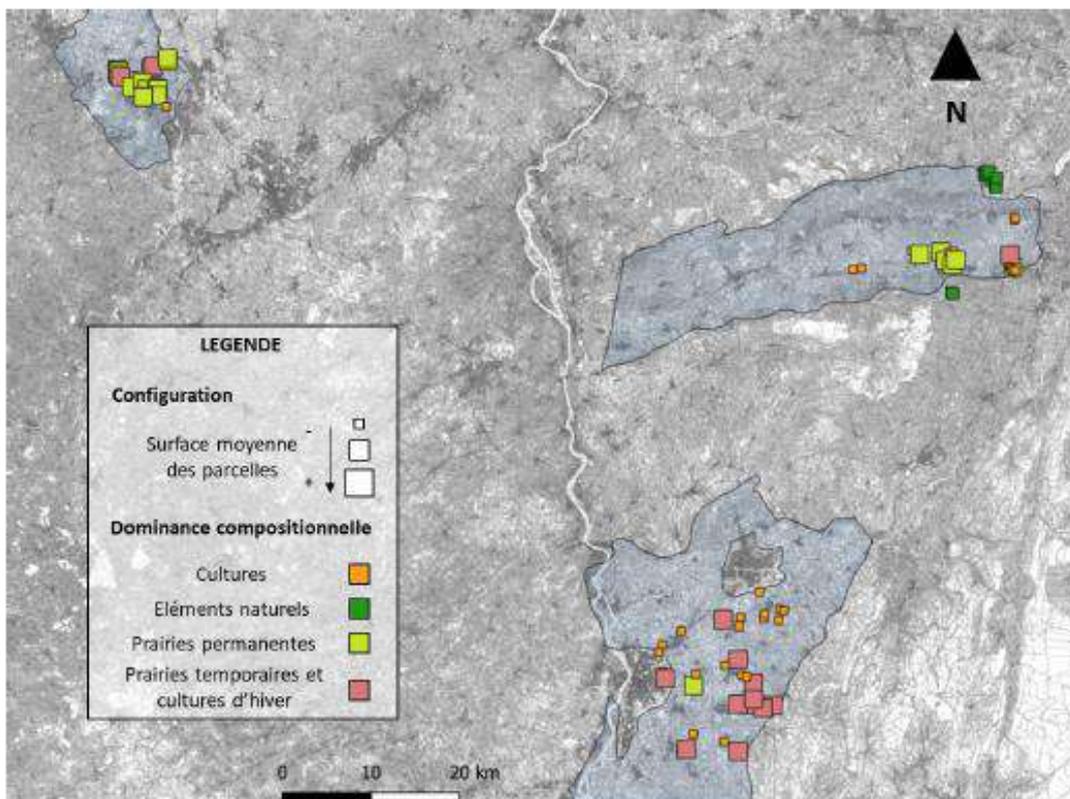


Figure 4 - Carte illustrative de la classification des paysages présents dans un rayon de 500 mètres autour des parcelles inventoriées. La taille des carrés représente la surface moyenne des parcelles agricoles dans le rayon et la couleur représente la dominance de composition du paysage.

printemps le ferait diminuer. Cela est cohérent avec l'écologie des messicoles puisqu'elles apprécient les milieux perturbés que les prairies temporaires participent à former et que leur cycle de vie ne coïncide pas avec les cultures printanières. Si l'on se focalise sur le Forez, l'augmentation du pourcentage de cultures de printemps ferait diminuer la richesse spécifique. Dans le Rovaltain, les tendances sont similaires que dans le Forez avec en plus, une augmentation de la richesse avec l'augmentation de la surface moyenne des parcelles. Ce constat est différent de ce qui est indiqué dans la littérature scientifique, où, au contraire, les parcelles de petite taille favoriseraient la biodiversité (Duelli, 1997 et Gaba *et al.*, 2010). Dans la Bièvre, ce serait un axe sud-nord qui expliquerait le mieux l'augmentation de la richesse. Ce gradient que l'on observe pourrait être lié aux parcelles dont le paysage est dominé par des éléments naturels, plus nombreuses au nord qu'au sud et qui favoriseraient une plus grande richesse.

Pour confirmer les tendances observées dans les analyses statistiques, il faudrait inclure les données 2018. Par ailleurs, l'analyse paysagère est effectuée ici en utilisant le RPG 2016 puisque le RPG 2017 n'était pas disponible au moment des analyses. Il faudrait donc relancer les analyses en utilisant le bon RPG.

Les paysages agricoles sont-ils favorables à la flore patrimoniale ?

Conclusion

L'action 1 n'a été ici étudiée que sur le volet biodiversité. Pour répondre au second objectif, qui est de définir la composition et l'organisation des paysages, une analyse similaire à celle de l'action 2, en simplifiant le nombre de variables paysagères, est envisageable. La classification des paysages semble en effet être la meilleure méthode pour répondre à la problématique.

Le paysage est un élément pouvant être modélisé sur court ou moyen terme, c'est pourquoi il est important de l'étudier. Cependant, il ne faut pas oublier que la pédologie, le climat ainsi que les pratiques agricoles structurent fortement la composition floristique. C'est pourquoi il serait intéressant, au moins pour l'action 2, d'analyser également la pédologie et les rotations des cultures afin de définir la part de variabilité de ces deux facteurs au regards des facteurs paysagers.

Pour plus de détails sur les analyses, résultats et discussion autour de ces résultats, je vous renvoie au rapport scientifique rédigé pendant ce stage.

7

Bibliographie

Curial, M. (2018). Etude de la flore messicole des espaces agricoles de la région AURA. Développement méthodologique en écologie du paysage et écologie spatiale pour comprendre la structuration des espèces. Mémoire de master en écologie (Expertise Ecologique et Gestion de la Biodiversité – Université Aix-Marseille), sous la direction de Benoît Sarrazin, ISARA Lyon. 53p.

Duelli, P. (1997). Biodiversity evaluation in agricultural landscapes: an approach at two different scales. *Agric. Ecosys. Environ.* 62, 81–91.

Fried G., Petit S., Reboud X., (2010). A specialist-generalist classification of the arable flora and its response to changes in agricultural practices. *BMC Ecology, Opensource e-10*, 20.

Gaba, S., Chauvel, B., Dessaint, F., Bretagnolle, V., & Petit, S. (2010). Weed species richness in winter wheat increases with landscape heterogeneity. *Agriculture, ecosystems & environment*, 138(3-4), 318-323.

Gibbons, D. W., Bohan, D. A., Rothery, P., Stuart, R. C., Haughton, A. J., Scott, R. J., ... & Firbank, L. G. (2006). Weed seed resources for birds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 273(1596), 1921-1928.

Hawes, C., Haughton, A. J., Osborne, J. L., Roy, D. B., Clark, S. J., Perry, J. N., ... & Dewar, A. M. (2003). Responses of plants and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 358(1439), 1899-1913.

Krebs, J.R., Wilson, J.D., Bradbury, R.B., Siriwardena, G.M. (1999). The second Silent Spring? *Nature* 400, 611–612.

Stoate, C., Boatman, N. D., Borralho, R. J., Carvalho, C. R., De Snoo, G. R., & Eden, P. (2001). Ecological impacts of arable intensification in Europe. *Journal of environmental management*, 63(4), 337-365.

Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418, 671–677.

Les paysages agricoles sont-ils favorables à la flore patrimoniale ?



RESUME

Titre : Etude de la flore messicole des espaces agricoles de la région AURA
Développement méthodologique en écologie du paysage et écologie spatiale pour comprendre la structuration des espèces

Mots-clés : Messicoles, écologie du paysage, écologie spatiale, hétérogénéité paysagère

Résumé : La biodiversité des milieux agricoles s'érode depuis la fin de la seconde guerre mondiale à cause de l'intensification des pratiques culturales. Le paysage des plaines agricoles, modifiable à court et moyen terme, semble constituer un outil important de communication en faveur de la biodiversité. Afin de comprendre la structure de la biodiversité et des paysages, la région AURA finance une étude sur diverses plaines agricoles. Trois de ces plaines, la Bièvre (38), le Forez (42) et le Rovaltain (26) font l'objet d'une étude approfondie sur la flore cherchant à faire le lien entre les espèces messicoles et le paysage. En sus d'une analyse descriptive, une modélisation de la richesse de 82 parcelles inventoriées est réalisée, ainsi que des analyses de redondances contraintes (RDAC) sur les assemblages floristiques et la dissimilarité des assemblages (diversité β) entre les parcelles. A l'échelle régionale, le pourcentage de cultures de printemps semble réduire la richesse en messicoles alors que le pourcentage de prairies temporaires semble l'augmenter. Chaque territoire pris indépendamment ne montre cependant pas les mêmes liens. La RDAC ne montre pas de résultats significatifs sur les assemblages et valide l'importance des axes spatiaux (latitude, longitude) sur la dissimilarité des parcelles en termes d'assemblage. Ces résultats sont à relativiser. La couche géographique prise en compte concerne l'année 2016 et non 2017, année des relevés utilisés pour l'analyse. Renouveler la méthodologie en y ajoutant les données 2018 et en utilisant les bonnes couches géographiques (2017 et 2018) permettrait d'obtenir des résultats plus robustes et de proposer des mesures de conservation de la biodiversité et de gestion des espaces agricoles.

ABSTRACT

Title : Study of the segetal plants of the agricultural areas in AURA region (France)
Methodological development in landscape ecology and spatial ecology in order to understand species structure

Key-words : segetal plants, landscape ecology, spatial ecology, landscape heterogeneity

Abstract : Since the end of the Second World War, agricultural practices become increasingly intensive. This has led to an erosion of biodiversity in agricultural areas. Agricultural landscape seems to be a good element of communication aimed at saving biodiversity. Indeed, it is possible to redesign the landscape structure in short and medium term. In order to understand the link between biodiversity and agricultural landscape, the AURA region (France) funds a study on agricultural plains. Three territories are taken into account for studying the flora, especially segetal plants : the Bièvre, the Forez and the Rovaltain. A descriptive analysis, a modelisation of the richness and constrained redundancy analysis (RDAC) are computed on data coming from 82 crops. RDAC are used on flora assemblages and dissimilarity (β diversity) of those assemblages. At the regional scale, the spring crops percentage seems to reduce richness in segetal plants while temporal grasslands percentage seems to enhance it. At the local scale, each territory does not show the same links. RDAC do not produce significative results on assemblages and validate the importance of spatial axis (latitude, longitude) on crops assemblage dissimilarity. Those results are not reliable : the geographic layer used for studying landscape is took from 2016 data instead of 2017. Repeating the methodology with data from 2018 and good geographic layers would allow having robust results and offering conservation and management actions.