



HAL
open science

Analyse des relations entre flore adventice, système de culture et paysage

Elvina Thiery

► **To cite this version:**

Elvina Thiery. Analyse des relations entre flore adventice, système de culture et paysage. [Stage] France. AgroSup Dijon - Institut National Supérieur des Sciences Agronomiques, de l'Alimentation et de l'Environnement, FRA. 2019, 47 p. hal-02789752

HAL Id: hal-02789752

<https://hal.inrae.fr/hal-02789752v1>

Submitted on 5 Jun 2020

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

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



Spécialité : Agronomie

Stage de fin d'étude

Formation Ingénieur AgroSup Dijon

Formation Initiale

Analyse des relations entre flore adventice, système de culture et paysage

Stage réalisé du 01/04 au 30/09/2019

Elvina Thiery

Etienne Gaujour

Enseignant référent

Audrey Alignier et Alexandre Joannon

Tuteurs de stage

Institut National de Recherche Agronomique

Rue de Saint-Brieuc, 35000 Rennes

2019

Nb de pages : 47

Année de soutenance : 2019

Résumé

Les enjeux de l'agriculture actuelle sont d'assurer la mise en place de systèmes de cultures (SDC) productifs permettant de maintenir la biodiversité dans les parcelles. Si le développement de l'agriculture biologique (AB) peut permettre de favoriser la biodiversité dans les parcelles agricoles, il s'accompagne d'une difficulté accrue de la gestion des plantes adventices. Or ces plantes sont à la fois des bioagresseurs à limiter et des supports de biodiversité à préserver. L'objectif de mon stage est d'identifier des types de systèmes de culture en AB limitant l'abondance de plantes adventices tout en favorisant la biodiversité au sein des communautés végétales. Pour cela j'étudie l'effet des SDC sur les espèces problématiques et non problématiques. Le contexte paysager est également pris en compte car il impacte les communautés adventices des parcelles. Si aucun type de SDC ne semble correspondre aux critères voulus, ils possèdent cependant tous des avantages qui leur sont spécifiques. En ce qui concerne le paysage, seul un effet positif sur la richesse a été identifié.

Mots clés: Agriculture biologique, richesse spécifique, abondance, diversité, rendement, espèces problématique et non problématiques

Abstract

The challenges of current agriculture are to ensure that productive systems are in place to maintain biodiversity. While the development of organic farming (OF) can promote biodiversity in agricultural fields, it also involves increasing difficulties in weed management. Weeds are both pests to be limited and support of biodiversity that need to be preserved. The aim of my internship is to identify types of cropping systems in OF that limit weed abundance while promoting richness and diversity of weed communities. For that, I study the effect of cropping systems on problematic and non-problematic species. For this study, the landscape context was also taken into account as it may influence weed communities within fields. While no single type of cropping system meets the desired criteria, they all have advantages that depend on the point of view taken. As far as the landscape is concerned, only one effect on weed richness has been demonstrated.

Keywords: Organic farming, species richness, abundance, diversity, yield, problematic and non-problematic species

Remerciements

A l'issus de ce stage de 6 mois, je tiens à remercier Etienne Gaujour, mon tuteur de stage, ainsi qu'Alexandre Joannon et Audrey Alignier, mes maitres de stages, pour m'avoir guidé pendant mon stage et m'avoir offert de précieux conseils.

Merci également à Gérard Savary qui a pris le temps de m'expliquer le fonctionnement d'Agrosyst et de récupérer pour moi les données sur les systèmes de cultures.

Je remercie aussi Aurélien Dupont qui a catégorisé les espèces adventices présentes dans les parcelles de cultures.

Un grand merci à Jean-Phillipe Choisis qui m'a beaucoup aidé à établir la typologie des systèmes de culture.

Ensuite, je remercie tout particulièrement l'ensemble des membres de l'UMR BAGAP ainsi que les deux stagiaires Charlotte et Sarah pour avoir fait de ce stage un moment agréable et convivial.

Pour finir je remercie énormément ma famille et Rébecca de m'avoir soutenue tout au long de ce stage.

Merci à tous ce fût une belle expérience !

Sommaire

I.	Introduction.....	1
II.	Contexte et problématique.....	3
	A. La place des adventices en agriculture	3
	1. Un statut historique de nuisance	3
	2. Les bénéfices apportés par les adventices	4
	B. Développement d’alternatives : le cas de l’agriculture biologique	5
	1. Vers la fin des herbicides, l’agriculture biologique.....	5
	2. Les leviers de l’agriculture biologique pour la gestion des adventices	6
	3. L’effet du paysage	11
	C. Problématique et hypothèses	14
III.	Matériels et méthodes.....	15
	A. La zone Atelier Armorique et les parcelles d’études	15
	B. Collecte et mise en forme des données	16
	1. Les données floristiques	16
	2. Les données sur les systèmes de culture.....	18
	3. Caractérisation du paysage	19
	C. Traitement des données	21
	1. Analyses préalables des corrélations	21
	1. Typologie des systèmes de cultures.....	22
	2. Caractérisation du paysage	23
	3. Construction des modèles	23
IV.	Résultats	26
	A. Typologie des systèmes de cultures	26
	B. Caractérisation du paysage.....	27
	C. Comparaison des types de SDC	28
	1. Espèces problématiques vs non problématiques	28

2.	Analyse par traits fonctionnels	30
3.	Les effets sur le rendement	31
D.	Résultat de l'influence du paysage et des systèmes de culture	32
V.	Discussion	32
A.	L'établissement de la typologie.....	32
1.	Analyse des résultats	32
2.	Piste d'amélioration de la typologie	33
B.	Retour sur les résultats des comparaisons des SDC	33
C.	Retour sur l'effet du paysage	35
D.	Les limites de l'étude	35
1.	Taille de l'échantillonnage	35
2.	Pas de prise en compte du gradient d'agriculture biologique.....	36
VI.	Conclusion.....	36

Table des figures

Figure 1 : Différence de rendement entre une parcelle traitée et une parcelle non traitée contre les adventices pour 63 essais de blé tendre en France (D'après Cordeau et al., 2016).....	3
Figure 2 : Efficacité du labour sur le taux de décroissance annuel des plantes adventices (D'après Gaborit et al., 2017).....	8
Figure 3 : Plage d'intervention conseillée pour le désherbage mécanique sur céréale en fonction des states de développement de la culture (Pellebtz, 2018).....	10
Figure 4 : Illustration de l'hétérogénéité de composition et de configuration (Fahrig et al., 2011).....	12
Figure 5 : Proportion de la variation de la S (a) et de diversité (b) expliqué par les catégories de variables à chaque échelle par rapport au pourcentage total de variance expliqué par les variables.	14
Figure 6 : Localisation de la ZAA dans le département (a) et distribution des parcelles sur la ZAA (b).....	16
Figure 7 : Schématisation du protocole de relevé floristique et de l'évaluation du pourcentage de recouvrement	17
Figure 8 : Description de l'occupation des sols autour de la parcelle pour un paysage de 200 m de rayon à partir du centroïde.....	20
Figure 9 : Résultat de l'analyse multivariée sur les variables du paysage	27
Figure 10 : Richesse spécifique en espèces problématiques et non problématiques dans les parcelles.....	28
Figure 11 : Abondance des espèces problématiques et non problématiques dans les parcelles	29
Figure 12 : Diversité des espèces problématiques et non problématiques dans les parcelles ..	30
Figure 14 : Ratio des espèces vivaces dans les différents types de SDC	30
Figure 13 : Ratio des espèces à multiplication végétative dans les différents types de SDC ..	30
Figure 15 : Comparaison des rendements entre les quatre types de SDC	31

Table des tableaux

Tableau 1 : Données sur les systèmes de culture utilisées comme variable dans les analyses	19
Tableau 2 : Détails des 5 catégories d'occupation des sols.....	20
Tableau 3 : Détails des variables paysagères utilisées dans l'étude.....	21
Tableau 4 : Détails des variables introduites dans les modèles statistiques Erreur ! Signet non défini.	
Tableau 5 : Détail des classes de la typologie	26
Tableau 6 : Résultat du modèle linéaire pour les trois indices écologiques de la communauté entière et des espèces problématiques	32

Table des équations

Équation 1 : Equation de l'anova permettant de comparer les différents systèmes de cultures pour les trois indices écologiques.....	24
Équation 2 : Equation du modèle linéaire complet permettant d'étudier l'influence de toutes les variables	25

Liste des abréviations

AB	Agriculture biologique
AFDM	Analyse factorielle de données mixtes
BAGAP	Biodiversité, agroécologie et aménagement du paysage
DEPHY	Réseau de démonstration, expérimentation et production de références sur les systèmes économes en phytosanitaires qui constitue une action majeure du plan écopyto.
INAO	Institut national de l'origine et de la qualité
INRA	Institut national de la recherche agronomique
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
ITAB	Institut technique de l'agriculture biologique
MAAF	Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt
MEDDE	Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
NPK	Azote, phosphore et potassium
ONU	Organisation des nations unies
OSUR	Observatoire des science de l'univers de Rennes
SDC	Système de culture
UMR	Unité mixte de recherche
ZAA	Zone atelier Armorique

I. Introduction

L'UMR BAGAP, Biodiversité, AGroécologie, Aménagement du Paysage, est rattachée au centre INRA de Bretagne-Normandie, à Agrocampus Ouest et à l'Ecole Supérieure d'Agriculture d'Angers (INRA, 2019). Ses principales missions sont de produire et diffuser des connaissances scientifiques afin de contribuer aux innovations dans les domaines écologiques et agricoles (INRA, 2017). Les recherches menées au sein de cette UMR portent principalement sur l'analyse des interactions entre les activités agricoles et les dynamiques spatio-temporelles du paysage. Elles mettent l'accent sur les fonctions écologiques du paysage et la biodiversité qu'il héberge (INRA, 2018).

Les travaux de l'UMR BAGAP sont en partie réalisés sur la zone Atelier Armorique (ZAA). Il s'agit d'une vaste zone de 2 000 km² permettant d'observer, d'expérimenter et de modéliser afin de comprendre les fonctionnements biogéochimiques et les relations existantes entre la structure paysagère, l'utilisation des sols et la distribution des espèces. L'objectif de la ZAA est de répondre aux deux questions : 1) Déterminer si le poids relatif des variables de contrôle¹ sur le processus écologiques évolue au cours du temps et 2) Identifier les moyens dont disposent les agriculteurs pour gérer ces processus et valoriser les services écosystémiques. (OSUR, s.d. ; Gall et Alain-Hervé, s.d). La ZAA offre aussi l'accès à une large gamme de paysages ainsi qu'à un réseau d'exploitants dont certains en AB. Grâce à ce réseau, une étude visant à étudier l'effet du paysage et des systèmes de cultures sur la flore adventice en AB a pu être menée.

Cette étude, proposée par l'UMR BAGAP, s'inscrit dans le contexte agricole actuel où l'agriculture doit répondre à un triple enjeu. D'une part elle doit être suffisamment productive pour nourrir sainement la population grandissante (9 milliard estimé en 2050 selon l'ONU (2013)). D'autre part elle doit limiter au maximum les impacts environnementaux notamment en réduisant les herbicides et autres pesticides responsables d'un fort déclin de la biodiversité (Altieri, 1999). Enfin, elle doit permettre aux agriculteurs de subvenir à leurs besoins bien que dernier point ne soit pas abordé dans cette étude. Dans un tel contexte les plantes adventices²

¹Ce sont les variables liées au climat, au paysage, aux activités agricoles et aux politiques publiques

²Il s'agit de toutes les plantes qui se développent dans la culture sans y avoir été semé l'année considérée. Cela inclut la végétation spontanée mais aussi les repousses des années précédentes.

ont alors une place particulière puisqu'elles sont à la fois des bioagresseurs à limiter voir éliminer et des sources de services à préserver (Caussanel, 1989, Marshall et al., 2003).

Une amélioration possible pour limiter les impacts environnementaux consiste à se tourner vers des modèles tels que l'agriculture biologique. Ce modèle est notamment reconnu pour exercer une pression plus faible sur la biodiversité ce qui peut la favoriser (Hole et al., 2004). Cependant il existe encore de nombreux freins techniques à la conversion en AB. La gestion des plantes adventices y est plus difficile et les agriculteurs font encore parfois état d'un manque de conseil et/ou de références sur la question (Latruffe et al., 2013). Les exploitants craignent qu'une mauvaise gestion des adventices est un effet négatif sur le rendement et donc sur leurs résultats économiques (Latruffe et al., 2013).

Il est aujourd'hui donc nécessaire d'identifier les grands types de systèmes de culture en agriculture biologiques qui tiennent compte de l'enjeu environnementale et de productivité du double statut des plantes adventices. Il s'agit de SDC qui maintiennent une abondance de plantes adventices assez basse pour limiter l'impact sur le rendement et qui favorisent la richesse et la diversité végétale dans les parcelles. Le paysage influence également l'établissement des communautés adventices dans les parcelles (Fried et al., 2008). Il faut donc tenir compte dans l'identification d'un type de SDC des critères cités précédemment car l'efficacité des techniques varie selon la nature des plantes adventices.

Les études sur le domaine agricole sont généralement menées selon un point de vue agronomique ou écologique. Le point de vue agronomique vise à analyser les variations de rendement et/ou de rentabilité suite à une modification du SDC (Ex : Anderson et al., 2010). Le point de vue écologique consiste à se pencher plutôt sur l'effet de ces modifications sur la biodiversité végétale et/ou animale dans les parcelles (Hole et al., 2004). Aujourd'hui de certaines études essaient de concilier ces deux points de vue. Cependant, rare sont celles qui portent spécifiquement sur la gestion des plantes adventices en AB.

Pour tenter d'identifier des systèmes à faible abondance et à forte diversité de plantes adventices, la présente étude est conduite en plusieurs étapes. La première consiste en un état de l'art rappelant les facteurs pouvant impacter les communautés adventices à l'échelle locale (i.e. les techniques agricoles) et à l'échelle du paysage. Suite à cet état de l'art la problématique ainsi que les hypothèses de l'étude sont posées plus en détails. Par la suite, les

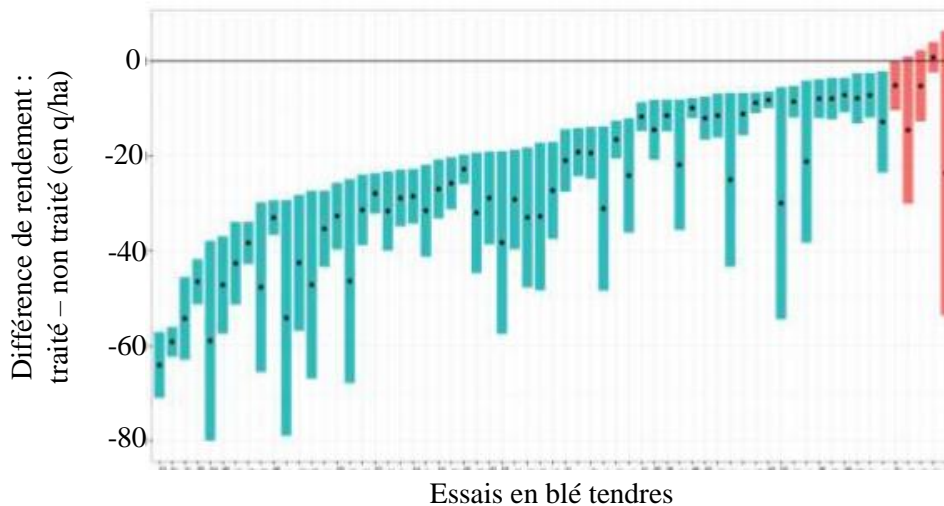
matériels et méthodes utilisés au cours de cette étude seront présentés suivit d'une exposition des résultats. Enfin ces résultats seront discutés avant de conclure l'étude.

II. Contexte et problématique

A. La place des adventices en agriculture

1. Un statut historique de nuisance

Historiquement les plantes adventices sont considérées comme des nuisances à éliminer car elles peuvent fortement affecter la qualité ou le rendement des récoltes (Caussanel, 1989). Comparativement aux autres bioagresseurs, elles représentent la plus grande menace potentielle pour le rendement malgré la mise en place de moyens de lutte. Selon une étude menée en Angleterre par Oerke (2006), les pertes potentielles attribuées aux plantes adventices en culture de blé sont estimées à 23 % contre 8,7 % attribuées aux animaux et 18 % attribuées aux pathogènes et virus. Les plantes adventices nécessitent donc un contrôle permanent sans quoi la perte de rendement est inévitable. Une étude menée par Cordeau et al. (2016) sur 63 essais de blé répartis dans toute la France appuie ce résultat. Chaque essai est composé d'une parcelle traitée (herbicide) et d'une parcelle sans aucune intervention de lutte contre les plantes adventices. Dans 92% des cas, des parcelles sans intervention subissent une perte de rendement allant de 10 à 64 q/ha par rapport aux parcelles traitées (*Figure 1*).



Le point représente la moyenne sur l'essai et le bloc la variabilité des résultats
En bleu, la baisse de rendement est significative ($\geq 5\%$) et en rouge, elle ne l'est pas.

Figure 1 : Différence de rendement entre une parcelle traitée et une parcelle non traitée contre les adventices pour 63 essais de blé tendre en France (D'après Cordeau et al., 2016)

Ces pertes peuvent s'expliquer car les plantes adventices sont d'importantes compétitrices³ de la culture pour l'eau, la lumière ou les éléments minéraux (Caussanel, 1989). Elles peuvent également être hôte de pathogène qui peuvent rendre la récolte impropre à la consommation au-delà d'un certain seuil. Le vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides*) est par exemple, un hôte de l'ergot du seigle (*Claviceps purpurea*) (Reboud, 2018). La quantité de ce dernier dans la récolte est règlementée à 0,5g/kg en raison de la présence de toxines identifiées dans ses sclérotés (AFFSA, 2008).

2. Les bénéfices apportés par les adventices

a) Une source de biodiversité et de services

Les agroécosystèmes⁴ contiennent deux types de biodiversité, la biodiversité cultivée qui correspond aux cultures implantées par l'agriculteur et la biodiversité spontanée dont font parties les plantes adventices (Vandermeer et Perfecto, 1995). Or les plantes adventices constituent une part importante de la diversité globale française. En effet, parmi les 7 600 espèces végétales répertoriées en France (FCBN, 2014), 1 200 sont considérées comme des plantes adventices (Jauzein, 1995). En comparaison, la biodiversité cultivée ne concerne que 109 espèces en Europe en 2019 (EUROPA, s.d.).

De plus, en tant que producteurs primaires, les plantes adventices représentent également la base des réseaux trophiques pour de nombreux taxons tels que les oiseaux ou les insectes herbivores ou phytophages (Marshall et al., 2003). Parmi ces taxons, il existe de nombreux auxiliaires de culture. Par exemple, les syrphes adultes se nourrissent du nectar des plantes adventices puis donnent naissance à des larves qui mangent les pucerons du blé (Cambecèdes et al., 2014). La prédation des pucerons par les larves permet de réduire l'utilisation d'insecticide cependant ce service dépend en partie de la présence de plantes adventices permettant de nourrir les adultes. Ainsi nuire de façon trop importante aux adventices peut grandement endommager le fonctionnement « naturel » de l'agroécosystème entier.

³ Le terme compétitrices s'applique quand deux individus partagent une même ressource en quantité insuffisante pour les satisfaire pleinement tous les deux (Clements et al., 1929).

⁴ Il s'agit d'un écosystème modifié par l'homme afin d'y installer une activité agricole

b) Le déclin de la biodiversité végétale dans les parcelles

Préserver une certaine diversité parmi les espèces végétales spontanée est primordiale dans les parcelles pour maintenir un bon fonctionnement de l'agroécosystème. Pourtant au cours du XXème siècle, l'agriculture s'est profondément intensifiée pour répondre aux besoins croissants de la population. Ainsi malgré son importance et principalement à cause du statut de nuisance des plantes adventices, la biodiversité végétale spontanée diminue dans les parcelles cultivées (Altieri, 1999). En 30 ans, une baisse de 44% du nombre moyen d'espèce adventice est enregistrée dans les parcelles française (Fried et al., 2008). Cette baisse s'accompagne d'une sélection de certaines espèces d'adventices selon leur biologie et leurs capacités à faire face aux pressions anthropiques. Une sélection s'est opérée en faveur des espèces généralistes au détriment des espèces spécialistes. Les espèces herbacées des milieux pauvres et les plantes vivaces régressent au profit des graminées (Jauzein, 2001 ; Fried et al., 2008). Il est devenu primordial aujourd'hui de limiter le recours aux pesticides et notamment aux herbicides pour limiter la perte de biodiversité végétale au seins des parcelles.

B. Développement d'alternatives : le cas de l'agriculture biologique

1. Vers la fin des herbicides, l'agriculture biologique

Identifier comme l'une des causes majoritaires du déclin de la biodiversité, l'utilisation intensive de pesticides, dont les herbicides, est fortement remise en question aujourd'hui. Poussé par la demande sociétale d'une agriculture moins tournée vers les produits phytopharmaceutiques, les gouvernements appliquent des mesures de plus en plus strictes à leur utilisation. Par exemple, le règlement UE 2018/605 de la commission européenne introduit de nouveaux critères de sécurité à prendre en compte pour la mise sur le marché d'un produit phytopharmaceutique (commission européenne, 2018). De plus d'autres mesures gouvernementales tentent d'inciter à la réduction des pesticides au profit d'une agriculture plus responsable. Le plan Ecophyto II vise par exemple une réduction de 50% du recours aux pesticides dans les pays européens d'ici 2025 grâce à une restructuration du modèle agricole (MAAF et MEDDE, 2015).

L'agriculture biologique se présente comme un modèle alternatif sans herbicides. Basée sur un cahier des charges et une obligation de moyens elle vise à préserver les ressources

naturelles (INAO, s.d.). Pour cela elle impose, entre autre, la non utilisation de pesticides de synthèse selon la loi européenne 2092/91, article 12 du traité cadre européen⁵. Les contraintes du cahier des charges, notamment l'interdiction d'utiliser des produits phytopharmaceutiques, imposent aux agriculteurs de trouver des alternatives dans la lutte contre les adventices et d'anticiper les problèmes par une lutte en amont. En effet, la réduction de l'utilisation de pesticides repose sur des techniques mises en place avant le développement des plantes adventices (voir partie II. B. 2.). Elles peuvent donc servir à atteindre le triple enjeu de l'agriculture à savoir rester productif et rentable tout en limitant l'impact négatif sur l'agroécosystème.

Pourtant, en 2016 seul 6% des surfaces française étaient converties en AB ou en conversion (eurostat, s.d.). A cette date la France se positionnait également comme le 4^{ème} pays européen le plus consommateur de pesticides avec, entre autre, 2,3 kg/ha d'herbicide (Eurostat, s.d.). Si, l'AB est plus favorable au maintien de la biodiversité dans les parcelles cultivées (Hole et al., 2004), la gestion des adventices y est plus difficile, ce qui explique une certaine réticence à la conversion. Sans herbicides, les exploitants craignent une mauvaise gestion des plantes adventices pouvant mettre en danger leur résultat économique (Latruffe et al., 2013).

2. Les leviers de l'agriculture biologique pour la gestion des adventices

Il existe une multitude de techniques agricoles permettant de lutter directement ou indirectement contre la flore adventice dans les cultures. Elles peuvent être classées en six catégories : les conditions de récolte du précédent cultural, le travail du sol, la composition de la succession culturale, la culture de l'année en cours et les pratiques de gestion directe. Pour cette dernière catégorie, les traitements chimiques ne seront pas abordés car ils sont majoritairement interdits en agriculture biologique et ne sont de toute façon pas utilisés sur la ZAA.

a) Les conditions de récolte du précédent cultural

La plupart des plantes adventices ont un cycle de développement calqué sur celui des cultures. Ce mimétisme résulte en partie d'une adaptation aux pratiques agricoles (Barrett, 1983). Les

⁵ Disponible sur : <https://www.bioconsomacteurs.org/sites/default/files/pdf/reglement-bio-europeen-1991-avec-ensemble-des-modifications.pdf>

graines des plantes adventices et des cultures sont donc matures au moment de la récolte. Cependant de nombreuses plantes adventices ont des graines plus petites et plus légères que celle de la culture. Par exemple, une graine de chénopode blanc (*Chenopodium album*) pèse moins d'1 mg (Gardarin et al., 2010). Ce qui est donc très inférieur à la masse moyenne des grains de blé de 40 mg par grain (Boucheron et al., 2017). Les graines adventices sont alors rejetées avec les menus pailles⁶ par la moissonneuse-batteuse. En ajoutant un collecteur de menus pailles lors de la récolte il est alors possible de récupérer jusqu'à 70% des graines d'adventices, limitant ainsi l'alimentation du stock semencier et l'infestation l'année suivante (Anderson, 2010).

b) Le travail du sol

Le travail du sol joue un rôle clé dans la gestion des plantes adventices. En effet, selon Fried et al. (2008) il fait partie des techniques agricoles ayant le plus d'impact sur leur installation dans le parcelle. En agriculture biologique il joue un rôle important dans la régulation de l'abondance des plantes adventices. En effet, Sans et al. (2011) observe en Suède un pourcentage de recouvrement des plantes adventices 1,5 fois plus important quand le travail du sol est réduit.

Le travail du sol regroupe plusieurs types d'interventions réalisés avant le semis afin de limiter l'émergence et/ou la croissance des plantes adventices. En ce qui concerne les plantes vivaces, le labour arrache les racines même profondes. S'ils sont répétés régulièrement, le labour et le déchaumage risquent dans un premier temps de favoriser la multiplication végétative. Cependant au bout d'un certain nombre de passages il va épuiser les organes de reproduction végétative et limiter la reproduction des plantes à multiplication végétative (Chambre d'agriculture Nord-Pas-de-Calais, 2013 ; Sicard et Fontaine, 2012).

- **Le labour :**

Les graines ont toutes une profondeur de germination maximale mais la plupart d'entre elles germent entre 0 et 5 cm (Gaborit et al, 2017). Le labour retourne les horizons, enfouissant les graines des plantes adventices et empêchant ainsi leur germination. Cette technique est particulièrement efficace contre les espèces ayant un taux de décroissance faible (majoritairement des graminées annuelles). Toutefois, plus le taux de décroissance diminue, moins cette technique est efficace (***Figure 2***)

⁶ Menus paille : il s'agit des résidus évacués dans la parcelle lors du nettoyage du grain par la moissonneuse batteuse.

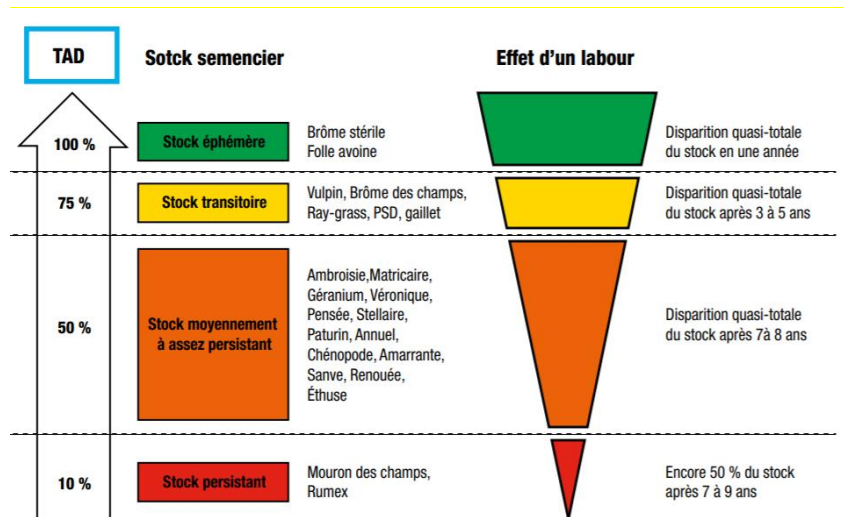


Figure 2 : Efficacité du labour sur le taux de décroissance annuel des plantes adventices (D'après Gaborit et al., 2017)

- **Le déchaumage :**

L'objectif du déchaumage est avant tout de fragmenter et enfouir les résidus de la culture précédente. Cependant s'il est pratiqué avant la montée en graine des plantes adventices, il permet de se débarrasser des individus qui se sont développés au cours de l'interculture et/ou en fin de culture précédente. Cette technique est particulièrement efficace contre les annuelle (Pekrun et Claupein, 2006)

- **Les faux semis :**

Le déchaumeur peut aussi être utilisé pour faire des faux semis qui stimulent la lever des graines adventices avant qu'elles ne soient détruites lors du passage suivant. En effectuant plusieurs passages de déchaumeur successifs pendant la période d'interculture, il est possible d'éliminer un plus grand nombre de plantes adventices annuelles. La renouée persicaire (*Polygonum persicaria*) (Pekrun et Claupein, 2006).

c) **La composition de la succession culturale**

Dans un système où l'utilisation des herbicides est proscrite, la succession culturale et le précédent jouent un rôle clé dans la gestion des adventices (Fried et al, 2008).

La succession culturale doit être aussi diversifiées que possible afin de casser les cycles biologiques des plantes adventices. Cela limite l'installation d'une communauté spécifique sur

une longue période et permet de maintenir dans les parcelles des communautés à forte richesse spécifique et où chaque espèce est présente à faible densité (Buhler, 1999). Pour diversifier les successions il faut avant tout diversifier les espèces cultivées. Par exemple, inclure un pois entre deux cultures de blé permet d'avoir des densités de brome (toutes espèces confondues) quarante fois plus faible dans la seconde culture de céréale (Anderson, 2004). L'alternance entre les cultures d'hiver et de printemps peut aussi apporter de la diversification dans la succession et permettre de contrôler les communautés (Anderson, 2004). Par exemple, les plantes comme le mouron des champs qui lèvent au printemps ou en été se développeront bien dans la culture de printemps mais ses descendants seront moins compétitifs dans une culture d'hiver (ITAB, 2012).

Une étude de Munier-Jolain et al (2012) menée en France a également montré que l'inclusion d'une prairie fauchée dans la rotation permettait de limiter le développement des espèces les plus sensibles à la fauche tels que *Galium aparine* ou le *Chenopodium album*.

d) La culture en cours

Selon Fried et al. (2008), la culture en cours a un poids prédominant parmi les facteurs influençant l'établissement des communautés adventices. La culture implantée doit croître rapidement et couvrir le sol de façon suffisamment importante pour être compétitive et limiter le développement des plantes adventices (Rasmussen et al., 1999). Pour cela, certaines espèces sont plus compétitives que d'autres. En agriculture biologique, l'orge est par exemple plus compétitive pour les nutriments tandis que le blé est plus compétitif pour la lumière (Taylor et al., 2000). De la même façon le choix variétal est tout aussi important. En effet, planter des variétés avec un fort pouvoir couvrant peut permettre de réduire de 25% la biomasse des plantes adventices dans la culture (Rasmusen, 2000) réduisant ainsi la compétition avec la culture. Enfin, réaliser des associations céréale-légumineuse peut également permettre d'augmenter la compétitivité des cultures vis-à-vis des communautés adventices (Corre-Hellou et al., 2012).

Les conditions de semis jouent aussi un rôle dans l'établissement du couvert. La date de semis doit être choisie selon les interventions prévues telles que les faux semis ou le hersage post-levée. La densité de semis doit quant à elle prendre en compte le pouvoir couvrant et les besoins de l'espèce et de la variété choisie. Néanmoins en agriculture biologique, il est

conseillé d'augmenter les densités de 20% pour des céréales à paille en prévision de perte plus importante au moment de la germination en raison de l'absence de traitement sur les semences. Une densité de semis plus élevée est également conseillée pour assurer un couvert dense qui limitera la pousse des plantes adventices (Bond et Grundy, 2001)

e) *Les pratiques de gestions directes*

En dehors des herbicides qui sont majoritairement interdits en agriculture biologique, il existe d'autres moyens de lutte directe, le plus répandu étant la lutte mécanique. Les stratégies de lutte physique les plus efficaces consistent en un premier passage à un stade précoce de la culture puis en plusieurs passages répétés afin d'éliminer les plantes adventices laissées au passage précédent. (Pellentz, 2018 ; Sicard et Fontaine, 2012).

Le désherbage mécanique reste cependant moins efficace que la lutte chimique : 40 à 50% d'efficacité. De plus il n'est pas toujours possible de réaliser un désherbage mécanique, il faut tenir compte à la fois du stade de développement de la culture (**Figure 3**). C'est pourquoi il est important d'avoir recours à un ensemble d'autres mesures préventives (Pellentz, 2018).

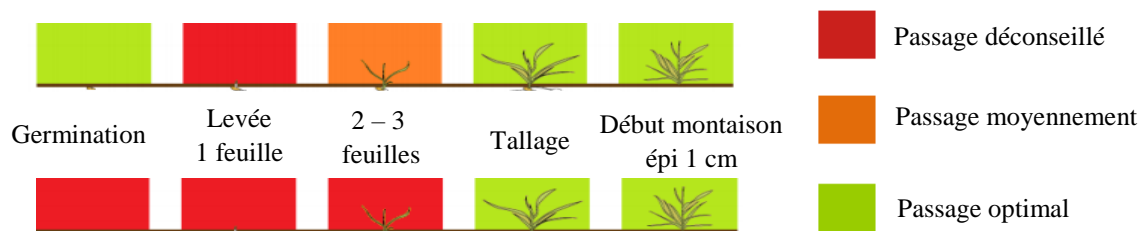


Figure 3 : Plage d'intervention conseillée pour le désherbage mécanique sur céréale en fonction des stades de développement de la culture (Pellebtz, 2018)

D'autres types d'intervention sont possibles comme l'électroporation⁷ ou la coupe au laser⁸. Toutefois, ces techniques sont encore en phase de développement ou trop coûteuses pour être véritablement rentables (Bàrberi, 2001 ; Leblanc et Courtier, 2006).

⁷ L'électroporation consiste à appliquer une impulsion électrique dans le sol pour tuer les plantes adventices les plus jeunes. (Bàrberi, 2001)

⁸ La coupe au laser consisté à diriger un faisceau à très forte énergie précisément sur la plante adventice. Il peut s'agir d'un laser infrarouge ou d'un laser au CO2 (Leblanc et Courtier, 2006)

f) La gestion des fumures

Les fumures organiques peuvent être une source importante de graines d'adventices. En effet, 20% des graines ingérées par les herbivores survivent à leur passage dans le rumen, alimentant les fumures en semences de plantes adventices. Ainsi, 1 kg de fumier peut contenir jusqu'à 42 graines de chénopode blanc (*Chenopodium album*) qui intégreront ensuite la parcelle cultivée lors de l'épandage de ce fumier (Bàrberi, 2001). Afin de pallier à ce problème, les fumures peuvent être prétraitées. Il s'agit généralement d'un compostage des fumures avant leur épandage. Les températures atteintes pendant la période de compostage (55 à 65°C) permettent de tuer l'embryon de la plupart des graines adventices (De Luca & De Luca, 1997)

3. L'effet du paysage

a) Rappel sur la notion de paysage

D'après Forman et Gordon (1986), un paysage se définit comme une portion de territoire hétérogène composée d'un ensemble d'écosystèmes en interaction qui se répètent de façon similaire dans l'espace. Burel et Baudry (2003) complètent cette définition en ajoutant qu'un paysage est caractérisé par son hétérogénéité et ses dynamiques qui sont en partie dus aux activités agricole humaines.

Avant d'étudier l'hétérogénéité du paysage, il faut avant tout établir une cartographie de ce paysage. Les différents types d'occupations du sol doivent être définis selon les besoins de la population considérée (Fahrig et al., 2011). Par exemple, pour les plantes adventices les zones immergées ou goudronnées correspondent à des zones où elles ne peuvent pas se développer et sont donc classés dans le même type. Une fois la cartographie du paysage réalisée, l'hétérogénéité du paysage peut être décrite de deux façons : l'hétérogénéité de composition et l'hétérogénéité de configuration (Fahrig et al., 2011).

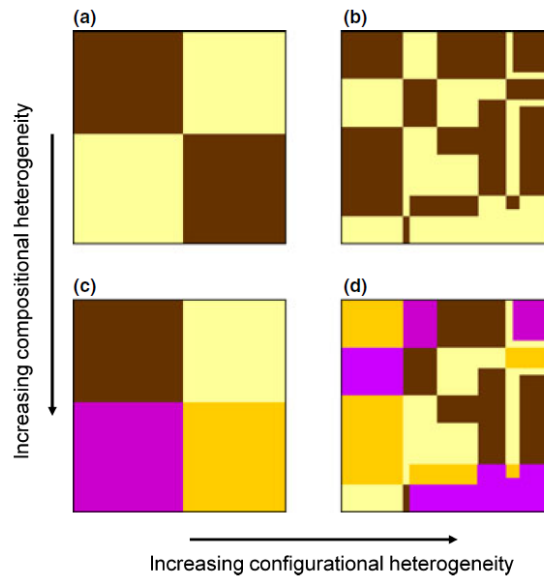


Figure 4 : Illustration de l'hétérogénéité de composition et de configuration (Fahrig et al., 2011)

- **L'hétérogénéité de composition (Figure 4)** vise à étudier la diversité des types d'occupation des sols et leur étendue (Fahrig et al., 2011). Elle est généralement caractérisée par la proportion des types de sols dans le paysage ou l'indice de Shannon (Gaba et al., 2010, Petit et al., 2012, O'Neil, 1988).
- **L'hétérogénéité de configuration (Figure 4)** porte sur la complexité de l'organisation spatiale des différents types d'occupation du sol (Fahrig et al., 2011). L'objectif est alors de représenter cette complexité par des variables. Pour cela plusieurs métriques peuvent être utilisées tels que la longueur de haie, la surface de la parcelle ou la distance avec le type d'occupation voisin (Gaba et al., 2010, Petit et al., 2012)

b) Influence de l'hétérogénéité paysagère sur la flore adventice

Selon la théorie des filtres, la communauté adventices présente dans une parcelle résulte du passage à travers trois filtres correspondant à trois processus écologiques : la dispersion, l'établissement et la persistance (Rosenzweig, 1995). Chaque processus est influencé par différents facteurs extérieurs ce qui explique la différence entre les communautés selon le milieu considéré (Fried et Maillet, 2018).

L'hétérogénéité du paysage est l'un des facteurs influençant l'établissement et la persistance des espèces dans la parcelle. En effet, l'hétérogénéité représente les habitats disponibles que les plantes adventices peuvent coloniser. Aussi plus l'hétérogénéité est importante, plus les espèces ont à leur disposition des habitats diversifiés et donc plus elles sont nombreuses dans le paysage. Une étude menée en France montre en effet que plus le paysage est hétérogène plus la richesse spécifique est importante. Un paysage avec un indice de Shannon de 0,1 présente une communauté composée de 2 espèces, alors qu'un paysage ayant un indice de 0.73 abrite une communauté de 11 espèces. (Fédoroff et al, 2005). En plus de la richesse spécifique l'hétérogénéité du paysage semble avoir une influence sur l'abondance et la diversité des plantes adventices (Alignier et al., 2017).

Il est cependant difficile de démontrer un effet du paysage sur les communautés. Plusieurs auteurs ont tenté de montrer l'effet du paysage sur la richesse ou sur la diversité sans avoir de résultats. Par exemple, Hawes et al. (2010) n'ont pas identifiés d'effet du paysage sur la diversité des plantes adventices au Royaume Uni. Aussi, les auteurs ne sont pas tous d'accord sur l'effet des variables paysagères sur les communautés adventices. Par exemple, deux études menées en Allemagne et mesurant l'effet de la proportion de culture dans le paysage sur la diversité ne montrent pas les mêmes résultats. Gabriel et al. (2006) affirment que cette proportion a un effet négatif sur la diversité alors que Holzschuh et al. (2007) ne trouvent pas d'effet significatif pour cette variable.

Malgré les difficultés de mise en évidence, les auteurs s'accordent sur un effet partagé du paysage et des techniques culturales sur la richesse et peut être sur la diversité et l'abondance des communautés d'adventice. Il est donc tout à fait possible qu'ils interagissent entre eux et que l'effet du paysage module celui des techniques culturales.

c) Un effet majoritairement local du paysage

Le choix de l'échelle est toujours une question primordiale lors d'une étude des effets du paysage. Plusieurs auteurs ont étudié l'effet des variables paysagère en utilisant plusieurs tailles de rayons pour délimité le paysage. Or les récentes études semble montré que les communautés adventices sont d'avantage impacté par le contexte paysager local que global (Marshall, 2009). Une étude menée par Gaba et al. (2010) indique que le meilleur rayon pour

délimiter le paysage semble être autour de 200 m. C'est en tout cas à cette distance que les variations de richesse et de diversité parmi la communauté adventice sont le mieux expliquées (*Figure 5*).

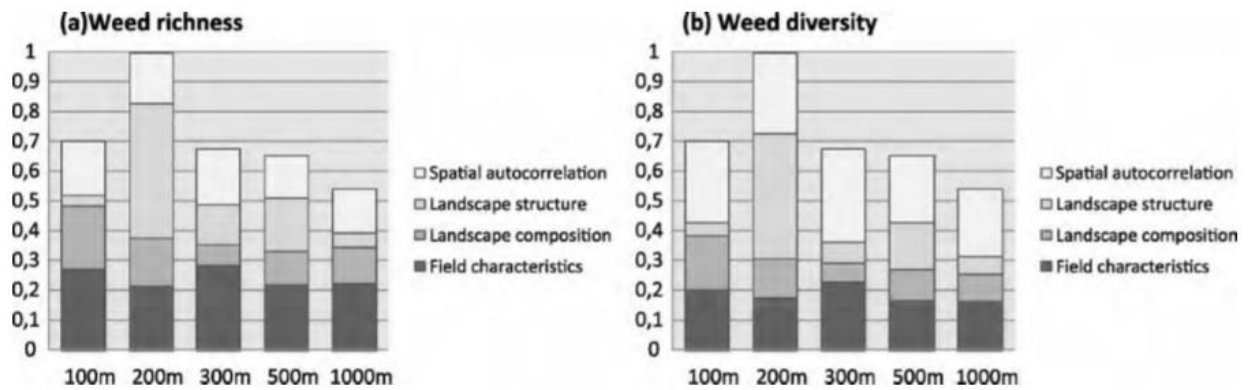


Figure 5 : Proportion de la variation de la S (a) et de diversité (b) expliquée par les catégories de variables à chaque échelle par rapport au pourcentage total de variance expliquée par les variables.

Le pourcentage de variance expliquée à chaque échelle a été ajusté par le pourcentage le plus élevé expliquée, c.-à-d. par le pourcentage de variance totale expliquée lorsque les variables de paysage ont été calculées à 200 m.

C. Problématique et hypothèses

L'agriculture actuelle s'oriente de plus en plus vers des SDC moins consommateurs de produits phytopharmaceutiques. C'est pourquoi les parcelles utilisées pour cette étude sont conduites en agriculture biologique, un modèle sans produit phytopharmaceutique. Ensuite, l'état de l'art a permis de mettre en avant les avantages et les inconvénients générés par les plantes adventices des parcelles cultivées. À partir de ces éléments ainsi que des connaissances sur les facteurs favorisant ou défavorisant ces plantes, l'enjeu de cette étude est d'identifier les SDC favorisant leur diversité tout en limitant leur abondance. Il s'agirait alors de SDC permettant à la fois de maintenir la biodiversité (végétale) tout en limitant leur impact sur le rendement. L'identification de ces SDC doit prendre en compte le contexte paysager compte-tenu de son rôle dans la composition des communautés floristiques.

Pour parvenir à savoir quels sont les SDC respectant les critères fixés, il faut répondre à la problématique suivante.

Problématique : Quel est l'impact relatif des systèmes de culture biologique et du paysage sur la flore adventice des exploitations de la zone Atelier Armorique ?

Il a été vu dans l'état de l'art qu'un ensemble de techniques très diverses pouvaient être utilisées pour agir sur les plantes adventices. Pour étudier l'effet des systèmes de culture il faut donc s'intéresser à l'ensemble de ces techniques. Cependant, elles ne sont pas toutes utilisées simultanément dans tous les SDC. Chaque exploitant choisit un nombre limité de techniques qu'il met en place selon ses besoins et ses possibilités. De plus, elles n'affectent pas toutes les mêmes plantes (vivace ou annuelle, stade de développement, etc...). Ainsi en fonction des techniques choisies et de leur combinaisons la capacité des SDC à maintenir la biodiversité et la limiter l'abondance ne sera pas la même. Enfin, il ne faut pas oublier que l'hétérogénéité de composition ou de configuration du paysage ont un impact sur les espèces présentes dans les parcelles cultivées. Aussi les hypothèses de travail sont les suivantes :

Hypothèse 1 : Selon les techniques choisies par les agriculteurs il est possible d'identifier des grands types de SDC du point de vue de la gestion des adventices.

Hypothèse 2 : Certains des types identifiés permettent de limiter l'abondance des espèces tout en maintenant un certain niveau de diversité.

Hypothèse 3 : L'effet du paysage peut moduler l'effet des systèmes de cultures sur les adventices

III. Matériels et méthodes

Trois types de données sont utilisés dans cette étude : le détail des systèmes de culture, les relevés floristiques des parcelles et les relevés d'occupation des sols du paysage dans un rayon de 200m autour des parcelles. L'ensemble des relevés a été réalisé en 2018 (avant ce stage).

A. La zone Atelier Armorique et les parcelles d'études

L'ensemble des relevés a été réalisé sur Le site « Sud » de la zone Atelier Armorique (ZAA). Les parcelles ont été sélectionnées dans cette zone car le paysage entourant ces parcelles y est caractérisé par deux gradients intéressants dans le cadre de cette étude : Un gradient de pourcentage d'éléments semi-naturels et un gradient de pourcentage de parcelles en

agriculture biologique. Toutefois en raison d'un manque d'information, le gradient de parcelle en agriculture biologique ne sera pas étudié ici.

Au total vingt parcelles en agriculture biologique ont été sélectionnées dans cette zone (**Figure 6**). Parmi ces vingt parcelles, dix étaient cultivées en céréale d'hiver pure (avoine, blé tendre, orge, seigle et/ou triticale). Dans les dix autres les céréales d'hiver étaient en association avec une légumineuse (pois et/ou féverole).

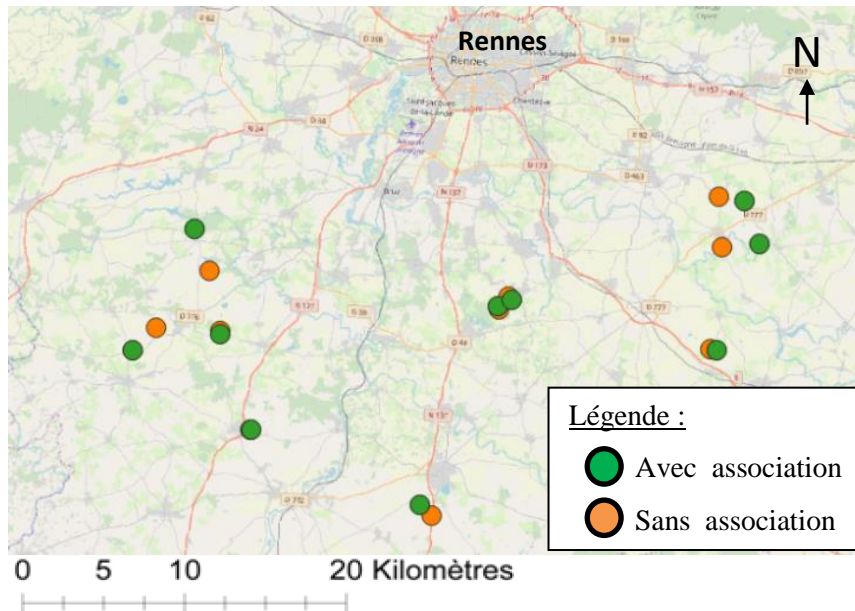


Figure 6 : Localisation de la ZAA dans le département (a) et distribution des parcelles sur la ZAA (b)

B. Collecte et mise en forme des données

1. Les données floristiques

Des relevés floristiques ont été réalisés dans les parcelles entre le 22/06/18 et le 05/07/18. Pour l'une des parcelles, les relevés ont été effectués après la récolte, elle n'est donc pas prise en compte dans les analyses.

Au total dix relevés par parcelle ont été réalisés. Pour cela, dix quadrats d'1m² ont été positionnés le long d'un transect de 50 m (**Figure 7**). Ce transect a été placé à 50 m du bord des parcelles afin d'être approximativement au centre des parcelles et s'affranchir de l'effet bordure.

Au sein de chaque quadrat une identification visuelle des espèces a été réalisée pour établir une liste exhaustive des espèces adventice. Les individus ont été déterminés à l'espèce dans la majeure partie des cas. En revanche les myosotis (*Myosotis sp.*) et les pissenlits (*Taraxacum sp.*) ont été identifiés au genre. Enfin, les mousses (*Bryophytes*) n'ont pas été prises en considération pour cette étude. Le pourcentage de recouvrement a également été estimé pour chaque espèce adventice. Il définit le pourcentage du quadrat recouvert par l'espèce (Figure 7).

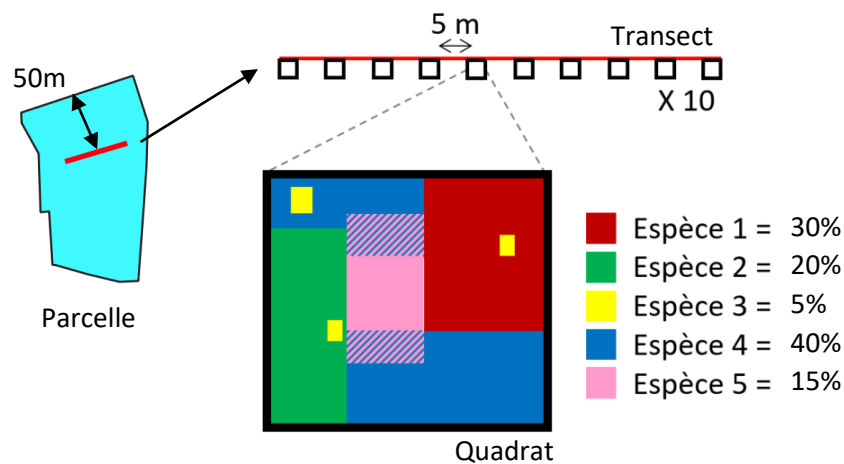


Figure 7 : Schématisation du protocole de relevé floristique et de l'évaluation du pourcentage de recouvrement

Afin d'étudier l'impact des techniques agricoles sur la communauté adventice, trois indices écologiques caractérisant cette communauté sont calculés :

- **La richesse spécifique** totale présente sur la parcelle, c'est à dire en prenant en compte les dix quadrats de la parcelle.
- **L'abondance** moyenne est obtenue en calculant le recouvrement total sur le quadrat puis en calculant le recouvrement moyen entre les quadrat. Elle est utilisé pour caractérisé la compétitivité des adventices vis-à-vis de la culture. Plus l'abondance est importante, plus la communauté est compétitive.
- **La diversité spécifique** mesurée par l'indice de Shannon. La richesse et l'abondance, tels qu'elles sont calculées, ne permettent pas de différencier les communautés équilibrées (avec une proportion équivalente de chaque espèce), des communautés dominées par un petit nombre d'espèces. C'est pourquoi l'indicateur de diversité spécifique de Shannon, tenant compte à la fois de l'abondance relative et de la richesse spécifique est pris en compte

Ensuite, pour affiner l'analyse, les plantes adventices sont classées à dire d'expert en deux catégories dans un contexte d'agriculture biologique en Bretagne (liste disponible en Annexe 1) :

- **Les espèces problématiques** qui correspondent aux espèces à gérer en priorité
- **Les espèces non problématiques** qui peuvent être considérées de deux façons. Soit comme des nuisances en devenir si elles profitent d'une diminution d'abondance des espèces problématiques pour devenir problématique à leur tour. Soit comme un pool de diversité à favoriser si elles restent non problématiques.

Parmi les espèces présentes dans les parcelles certaines peuvent aussi poser problème à long terme. Ces plantes correspondent aux plantes vivaces qui peuvent perdurer d'une année sur l'autre et les plantes à multiplication végétative que le SDC peut aussi bien épuiser que multiplier (Voir partie II.B.2.b). C'est pourquoi une analyse du ratio d'espèces vivaces et d'espèces à reproduction végétative dans la communauté est analysé en plus des deux catégories.

2. Les données sur les systèmes de culture

Les données sur les SDC mis en place en 2018 sont extraites de la base de données Agrosyst. Cette dernière a été créée dans le cadre du plan Ecophyto pour mettre à disposition les informations issues du réseau DEPHY⁹ et dont l'objectif est de caractériser les systèmes de cultures.

Ces données ont pu être collectées à partir d'enquêtes réalisées auprès des exploitants quelques mois avant les relevés floristiques grâce à un questionnaire détaillé.

Elles visaient à caractériser le fonctionnement de l'exploitation en apportant des informations générales sur l'exploitation et d'autres plus précises sur l'assolement 2018, le cheptel, le matériel utilisé, le précédent, les pratiques culturales et le rendement. Cependant, seules les données sur l'assolement 2018, le précédent, les pratiques culturales et le rendement sont

⁹ Réseau dont l'objectif est de mutualiser les résultats d'expériences visant à réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques. La mise en place de ce réseau constitue une action majeure du plan Ecophyto

utilisées dans le cadre de cette étude (*Tableau 1*). Le précédent cultural constitue la seule information disponible sur la succession culturale, c'est pourquoi cette dernière n'est pas prise en compte dans sa globalité.

Tableau 1 : Données sur les systèmes de culture utilisées comme variable dans les analyses

Étape du système de culture	Variable
Précédent cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Culture de printemps, d'hiver ou pérenne
Interculture	<ul style="list-style-type: none"> • Présence ou absence de déchaumage • Présence ou absence de labour • Présence ou absence de travail de préparation de semis supplémentaire (ex : faux semis)
Culture implantée	<ul style="list-style-type: none"> • Culture en association avec une légumineuse ou non • Espèces céréalières cultivées • Espèces légumineuses cultivées
Condition de semis	<ul style="list-style-type: none"> • Date de semis • Densité de semis des céréales • Densité de semis des légumineuses
Désherbage	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de désherbages mécaniques réalisés post-semis
Fumure	<ul style="list-style-type: none"> • Compostage ou non des fumures • Quantité d'azote, de phosphore et de potassium apportée par hectare
Rendement	<ul style="list-style-type: none"> • Rendement de la parcelle estimé par l'agriculteur

L'ensemble de ces variables est utilisé pour réaliser une typologie des systèmes de culture à l'exception du rendement. Celui-ci est utilisé pour analyser la façon dont les communautés adventices affectent l'efficacité agronomique du type de SDC.

3. Caractérisation du paysage

a) Identification des types d'occupation des sols

Les paysages entourant les parcelles ont été cartographiés sur ArcGis® 10.5 en 2018. Les limites des constructions humaines, des parcelles agricoles, des éléments boisés, des haies et des plans d'eau ont été définies à l'aide d'orthophotographie IGN (IGN, 2012). Afin de compléter ces informations, des relevés terrain ont permis d'identifier les cultures implantées

en 2018 sur les parcelles. Les couches SIG décrivant le paysage ont été redécoupées à 200 m sur QGis® afin d'établir une cartographie du paysage adaptée à cette étude (*Figure 8*).

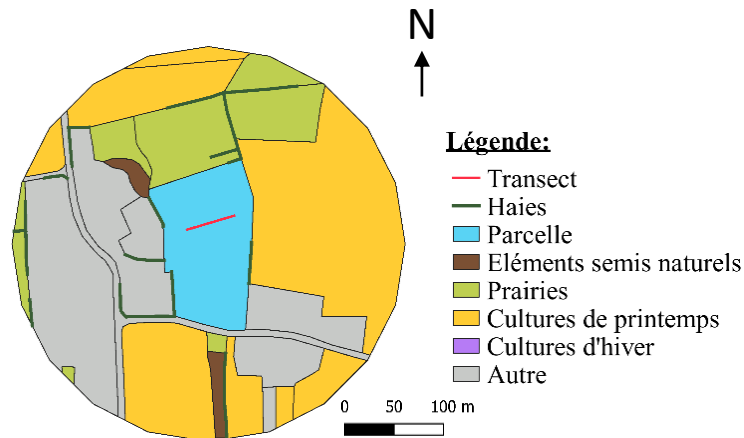


Figure 8 : Description de l'occupation des sols autour de la parcelle pour un paysage de 200 m de rayon à partir du centroïde

Suite au redécoupage 24 types d'occupation des sols sont identifiés sur l'ensemble du paysage et sont regroupés en 5 catégories (*Tableau 2*). Les cultures sont réparties en culture d'hiver et de printemps selon le contexte de la ZAA. Sur la ZAA, les céréales sont toujours cultivées en culture d'hiver. Les seules exceptions sont le maïs, le millet et le sarrasin, tous trois cultivés en culture de printemps. En ce qui concerne les prairies aucune distinction n'est faite (prairies temporaires ou permanentes, naturelles ou semées) car l'information disponible ne fournit pas ce niveau de détail. Enfin la catégorie « autre » regroupe tous les types d'occupation qui n'appartiennent à aucune catégories. Les cultures pérennes, les jardins et les cultures maraichères sont classés dans cette « autre » car leur surface n'est pas suffisante pour créer une catégorie.

Tableau 2 : Détails des 5 catégories d'occupation des sols

Catégorie	Type d'occupation du sol
Prairies	Prairies, luzerne
Eléments semi-naturels	Bandes enherbées, bois et friches
Cultures de printemps	Maïs, millet et sarrasin
Cultures d'hiver	Avoine, blé, colza, culture en mélange, orge, pois, seigle et triticale
Autre	Routes, bâtis, chemins, eau, vergers, jardins domestiques et cultures maraichère, miscanthus

b) Choix des métriques

Une fois la cartographie du paysage réalisée, elle peut servir de base pour calculer les métriques qui servent à caractériser le paysage. Les métriques choisies pour tester sont présentées dans le **Tableau 3**

Tableau 3 : Détails des variables paysagères utilisées dans l'étude

Hétérogénéité de composition	Prop_printemps	Proportion de culture de printemps dans le paysage
	Prop_hiver	Proportion de culture d'hiver dans le paysage
	Prop_naturel	Proportion d'éléments semi-naturels dans le paysage
	Prop_prairie	Proportion de prairie dans le paysage
	Prop_autre	Proportion d'autres occupations dans le paysage
Hétérogénéité de configuration	Lg_haie	Longueur de haie
	Taille_parcelle	Taille de la parcelle d'étude

L'ensemble de ces variables permet de décrire la complexité des paysages entourant les parcelles.

C. Traitement des données

Pour répondre à la problématique et vérifier les hypothèses, les analyses statistiques sont menées sur les trois indices écologiques (richesse spécifiques, abondance et diversité) afin de tester l'effet des SDC et du paysage. D'autres analyses sont réalisées sur les traits fonctionnels et le rendement pour approfondir l'étude. L'ensemble des données sont traitées au travers de plusieurs analyses statistiques réalisées sur R Studio.

1. Analyses préalables des corrélations

a) Vérification de la corrélation entre les variables explicatives quantitatives

Avant chaque analyse, une matrice de corrélation de Pearson est calculée entre l'ensemble des variables explicatives quantitatives pour s'assurer qu'elles ne sont pas redondantes entre elles grâce à la fonction *rcorr* du package *Hmisc* de R (Dessaint, 2016 ; **Annexe 2, 3**). Si la

corrélation est élevée (coefficient ≥ 0.7), les variables sont considérées comme redondantes. Une seule variable est alors incluse dans le modèle afin qu'il soit le plus juste possible.

Les résultats indiquent que les variables FO_N, FO_P et FO_K sont fortement corrélés aussi seule FO_N sera utilisée dans le modèle. De la même façon, les variables Prop_hiver et Prop_autre montrent une corrélation négative, le choix a été fait de ne pas inclure Prop_autre dans le modèle.

b) Autocorrélation spatiale

Les données ont été prélevées sur une surface assez vaste mais certaines zones de prélèvement sont très proches (< 100 m pour les deux zones les plus proches). Il est nécessaire de vérifier l'autocorrélation spatiale entre les données prélevées sur le terrain (indices écologiques) pour s'assurer de leur indépendance (Legendre, 1993 ; Rachael et al., 2007). L'indice de Moran est donc calculé pour ces variables grâce à la fonction *Moran.I* du package *ape* (Dorman, 2007 ; Paradis et al., 2014). Les résultats présents en **Annexe 4**, indiquent qu'il n'y a pas d'autocorrélation spatiale pour les variables considérées. Il n'est donc pas nécessaire de tenir compte d'un facteur aléatoire (la localisation des parcelles) dans le modèle.

1. Typologie des systèmes de cultures

Analyser l'effet des systèmes de culture nécessite de prendre en compte l'ensemble des pratiques mises en place en 2018. Cependant, la base de données ne contient que 20 SDC dont l'un a dû être retiré de l'étude. Ainsi, la taille du jeu de donnée ne permet pas d'inclure plus de trois ou quatre variables lors de la construction d'un modèle statistiques.

Réaliser une typologie des SDC permet de prendre en compte l'effet de toutes les pratiques tout en intégrant seulement une variable « type de SDC » au modèle.

La construction d'une typologie repose sur l'utilisation d'une analyse multivariée permettant de caractériser la diversité entre les individus statistiques (parcelles). Elle est suivie d'une classification hiérarchique séparant les individus en types en fonction des résultats de l'analyse multivariée (Choisis, 2012).

- **L'analyse multivariée :**

Les systèmes de culture sont caractérisés à la fois par des variables qualitatives et quantitatives. Une analyse factorielle de données mixtes (AFDM) est donc utilisée pour pouvoir conserver pleinement la variabilité des variables quantitatives (Pagès, 2004). L'AFDM, est calculée à partir de la fonction *FAMD* du package *FactoMineR*. Le nombre de dimensions choisi pour réaliser la classification dépend du nombre de dimensions nécessaires pour que toutes les variables et tous les individus soient bien représentés ($\cos^2 > 0,05$).

- **La classification hiérarchique :**

Suite à l'analyse multivariée, les SDC sont classés par une classification hiérarchique à l'aide de la fonction *HCPC* du package *FactoMineR*. La méthode de classification employée est la méthode « Ward » (Barnier et al., s.d.). Enfin, le nombre de classes (types de SDC) choisi pour établir la typologie des SDC dépend de la composition des classes obtenues suite à la classification.

2. Caractérisation du paysage

Comme il a été vu précédemment, il n'est pas possible d'intégrer les 7 variables paysagères au modèle en raison du nombre de SDC limité. Cependant il serait difficile de choisir uniquement deux variables étant donné que les publications ne sont pas toutes d'accord sur leurs effets. Une Analyse en composantes principales (ACP) est donc réalisée sur l'ensemble des variables paysagères à l'aide de la fonction *pca* du package *FactoMineR*. Elle permet d'obtenir une projection des parcelles à partir des variables paysagères calculées sur les deux premiers axes factoriels. Les coordonnées ainsi récupérées représentent l'hétérogénéité du paysage et servent à intégrer la caractérisation du paysage dans le modèle. Le nombre d'axe est limité à deux car il est nécessaire de limiter le nombre de variables explicatives intégrées au modèle pour ne pas le saturer. De plus, les deux premiers axes résument la majeure partie de l'information (voir partie résultat)

3. Construction des modèles

Suite à l'établissement de la typologie et de l'ACP, trois variables sont incluses aux différents modèles statistiques (Erreur ! Source du renvoi introuvable.). Deux types de modèles sont utilisés dans cette étude : a) des modèles permettant de comparer les types de SDC entre eux et

b) des modèles visant à étudier l'effet des types de systèmes de culture et des deux axes caractérisant le paysage.

a) Comparaison des types de systèmes entre eux

Pour pouvoir tester les hypothèses il faut avant tout savoir comment les types de SDC se positionnent les uns par rapport aux autres pour la richesse spécifique, l'abondance, la diversité des plantes adventices, les trait fonctionnels et les rendements. Pour cela ils sont comparés à l'aide de tests paramétriques suivi d'un test post hoc (Crawley, 2013). Les 2 types de tests, paramétrique ou non sont construit à partir de l'équation suivante :

(Richesse, abondance, diversité, trait fonctionnels, rendement) ~ Type_SDC

Équation 1 : Equation de l'anova permettant de comparer les différents systèmes de cultures pour les trois indices écologiques

Détail du test paramétrique (Crawley, 2013):

Pour chaque indice écologique (S, abondance et diversité), les effets des SDC sont comparés à l'aide d'une anova grâce à la fonction aov.

Un résultat significatif pour l'anova (avec $\alpha = 5\%$) indique qu'au moins un type de système est significativement différent des autres. Un test post hoc, le test de Tukey (*TukeyHSD* du package *agricolae* sur R est alors appliqué. Ce test permet de comparer chaque type de système deux à deux pour identifier ceux qui sont significativement différents.

L'utilisation d'une anova nécessite le respect de trois conditions : (1) l'indépendance des données ; (2) la normalité des résidus vérifiée par un test de Shapiro-Wilk grâce à la fonction *shapiro.test* sur R ; (3) l'homogénéité des résidus validée par un test de Bartlett à l'aide de la fonction *bartlett.test*. Si ces conditions de l'anova ne sont pas respectées, un test non-paramétrique est alors utilisé à la place de l'anova.

b) Mesure de l'effet des variables type de SDC et paysage sur les indices écologiques

L'effet des paysages et des SDC est étudié via une modèle linéaire (lm) pour les données suivant une loi normale. Ainsi pour chaque indicateur, le modèle est construit avec le résultat de la typologie et de la caractérisation du paysage.

(Richesse, abondance, diversité) ~ Type_SDC + paysage axe 1 + paysage axe 2 (a)

(Richesse, abondance, diversité) ~ Type_SDC * paysage axe 1 * paysage axe 2 (b)

Équation 2 : Equation du modèle linéaire complet permettant d'étudier l'influence de toutes les variables

L'objectif de ce test est dans un premier temps de savoir si le paysage à un effet sur les communautés adventices en posant un modèle ne tenant pas compte des effets d'interactions (Équation 2 (a)). Dans un deuxième temps l'idéale aurait été d'étudier aussi l'effet des interactions (Équation 2 (b)) pour savoir si le paysage module les effets du SDC mis en place sur la parcelle. Cependant, en raison du faible nombre d'échantillons (19), il n'est pas possible de tester ces effets. C'est pourquoi seul le modèle sans interaction est étudié ici.

IV. Résultats

A. Typologie des systèmes de cultures

La typologie réalisée présente un pourcentage d'explication de 61% et donne l'arbre de classification présenté en Annexe 5. Les quatre types de SDC obtenus (Tableau 4) sont détaillés en suivant les résultats des calculs de fréquence, moyenne et écart types présentés en Annexe 6.

Tableau 4 : Détail des classes de la typologie

	Condition de culture	Culture	Effectif
Type 1	Semis en novembre Travail du sol (labour) Apport d’NPK important Précédent printemps	Blé Pas de légumineuses	4
Type 2	Semis en octobre Densité de semis forte Travail du sol (labour et déchaumage)	Blé Pas de légumineuses	4
Type 3	Semis en octobre Pas de travail du sol Apport d’NPK important Précédent printemps Présence désherbage	Autre céréale (orge, seigle ou triticale) Féverole	3
Type 4	Travail du sol (labour) Densité forte Précédent hiver Absence de désherbage	Alternative au blé pur (autre céréale ou mélange céréalier) Pois	8

D’après la typologie obtenue deux catégories peuvent être identifiées parmi les quatre types obtenus. D’une part, les types 1 et 2 implanté en blé et sans association céréale / légumineuse. D’autre part les types 3 et 4 avec une association et dans lesquels les céréales implantées sont une altérative au blé.

Les types 1 et 2 concernent tous des SDC où le labour est pratiqué avant l’implantation d’une culture de blé. En revanche, le type 1 est caractérisé par des semis plus tardifs, des apports d’NPK importants (102 unités d’N/ha en moyenne) et des cultures de printemps comme précédent culturaux. Le type 2 correspond à des SDC avec des semis précoces à forte densité (183 kg/m² en moyenne), de plus le travail du sol est le plus important des quatre types de SDC.

Les types avec association regroupent des SDC sans culture de blé pur mais sont également assez différents entre eux. Le type 3 ne présente aucun travail du sol après une culture de printemps mais les cultures sont tout de même désherbées mécaniquement. Les semis sont précoces et les céréales sont en association avec une féverole. Enfin d'importants apports d'NPK (81 unités d'N/ha en moyenne) sont à noter. A l'inverse le type 4 présente un labour après une culture d'hiver mais aucun désherbage. Les cultures sont à forte densité (133 kg/ha pour la céréale et 52 kg/ha pour la légumineuse en moyenne) et la légumineuse d'association est un pois.

B. Caractérisation du paysage

LACP réalisée sur l'ensemble des variables paysagères permet d'obtenir une projection en deux dimensions avec un pourcentage d'explication de 58% (**Figure 9**). L'axe 1 indique une opposition entre d'une part les paysages avec une quantité importante de haies et d'éléments semi-naturels et d'autre part les paysages où la parcelle étudiée est de grande taille et où la part de culture d'hiver et de prairie est importante. L'axe 2 indique une opposition entre les paysage avec une forte proportion culture de printemps et ceux avec une forte proportion d'éléments semi-naturel.

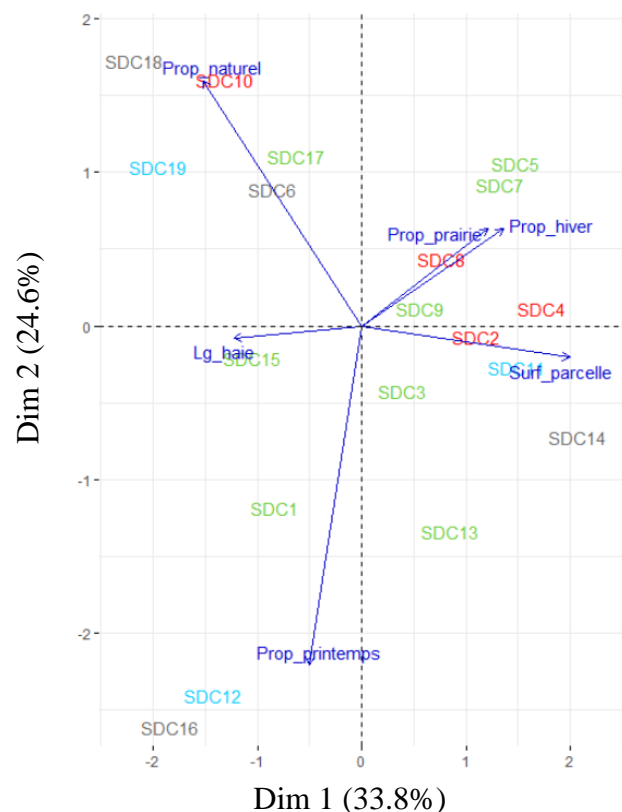


Figure 9 : Résultat de l'analyse multivariée sur les variables du paysage

C. Comparaison des types de SDC

1. Espèces problématiques vs non problématiques

Les résultats à l'échelle de la communauté entière ne sont pas présentés car ils sont très corrélés à ces des deux catégories espèces problématiques et non problématiques (*Annexe 7*). Aussi, seuls les résultats des anovas réalisées sur les ces deux catégories sont présentés ci-dessous. Les résultats détaillés des anovas sont disponibles en Annexe 8.

- **Richesse spécifique :**

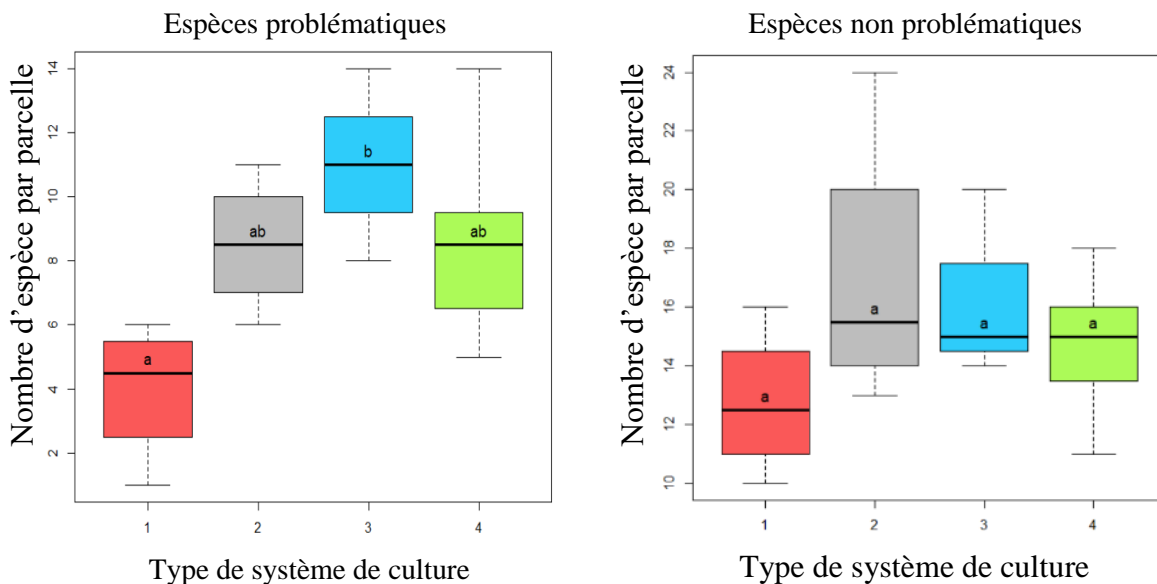


Figure 10 : Richesse spécifique en espèces problématiques et non problématiques dans les parcelles

D'après la *Figure 10*, seuls les résultats pour les espèces problématiques présentent des différences significatives. Les espèces non problématiques semblent néanmoins montrer une (légère) tendance pouvant être exploitée. Le type 1 est celui qui présente la plus faible richesse spécifique, aussi bien pour les espèces problématiques que pour celles non problématiques. Pour les trois autres systèmes, les richesses en espèces non problématiques sont pratiquement les mêmes bien que le type 2 contiennent des SDC avec des richesses importantes. Pour les espèces problématiques, le type 3 montre les richesses spécifiques les plus importantes tandis que les types 2 et 4 présentent des résultats intermédiaires.

- **Abondance :**

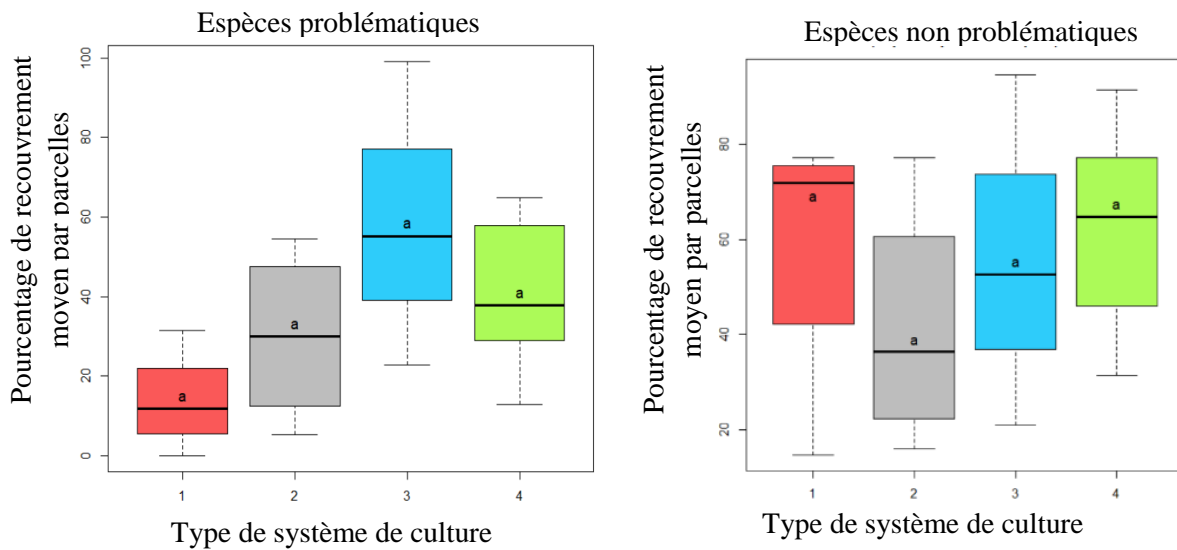


Figure 11 : Abondance des espèces problématiques et non problématiques dans les parcelles

D'après les tendances représentées dans la Figure 11, pour les espèces problématiques, le type 1 présente les abondances les plus faibles alors que le type 3 présente les plus fortes. Les abondances des types 2 et 4 sont intermédiaires bien que les abondances sont légèrement plus faibles dans le type 2. En ce qui concerne les espèces non problématiques, les résultats sont plus difficiles à interpréter à cause de l'importante variabilité intra-type. Cependant, les abondances dans le type 2 sont plus faibles que dans les autres types.

- **Diversité :**

La Figure 12 indique que le type 1 regroupe majoritairement des SDC avec une faible diversité pour les espèces problématiques et non problématiques. Les trois autres types présentent une diversité plus importante parmi les espèces problématiques. Les résultats ne sont pas significativement différents pour ces trois types mais le type 3 montre des diversités légèrement plus importantes. Pour les espèces non problématiques, les diversités sont légèrement plus importantes dans le type 2 même si le type 3 présente quelques SDC avec une forte diversité. Enfin, les diversités d'espèces non problématiques sont très variables dans les SDC du type 4.

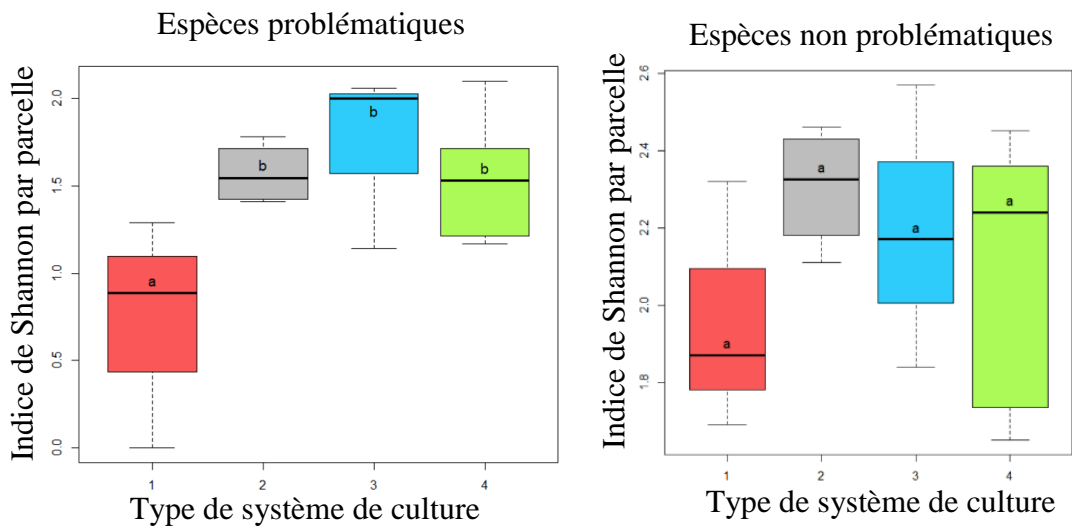


Figure 12 : Diversité des espèces problématiques et non problématiques dans les parcelles

2. Analyse par traits fonctionnels

Le détail des anovas réalisées sur les traits fonctionnels est présenté en Annexe 9.

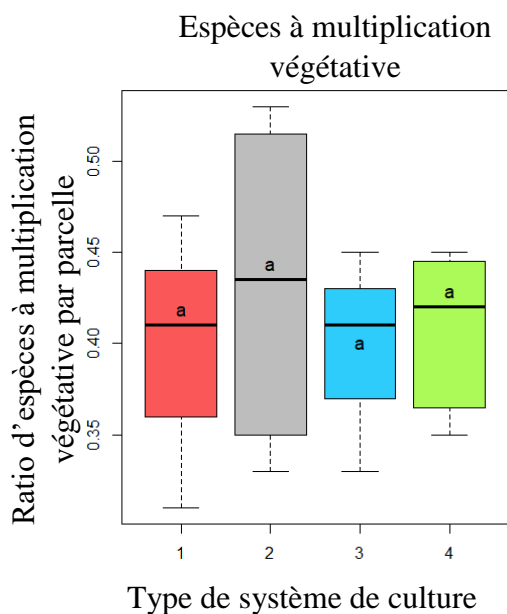


Figure 14 : Ratio des espèces à multiplication végétative dans les différents types de SDC

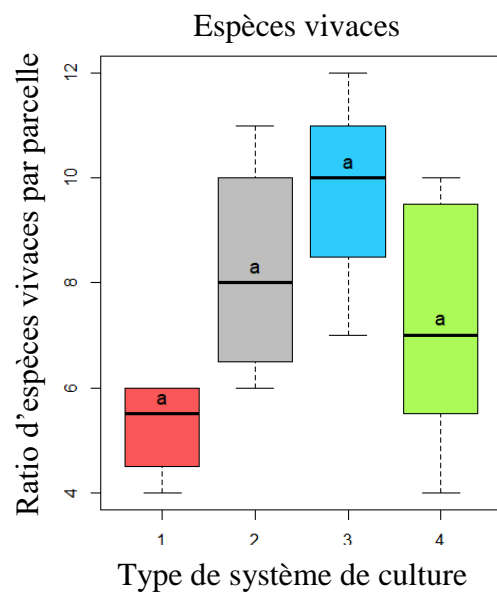


Figure 13 : Ratio des espèces vivaces dans les différents types de SDC

La **Figure 14**, montre que les différents types de présentent un ratio assez similaire d'espèces à multiplication végétative. Le type 2 fait néanmoins exception car les SDC qu'il contient présentent un ratio très variable de ces espèces.

D'après la **Figure 13** **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, le type 1 contient les SDC présentant le moins d'espèces vivaces. En opposition, le type 3 regroupe les SDC avec le plus d'espèces vivaces. Les types 2 et 4 ont globalement un nombre d'espèces vivaces intermédiaire.

3. Les effets sur le rendement

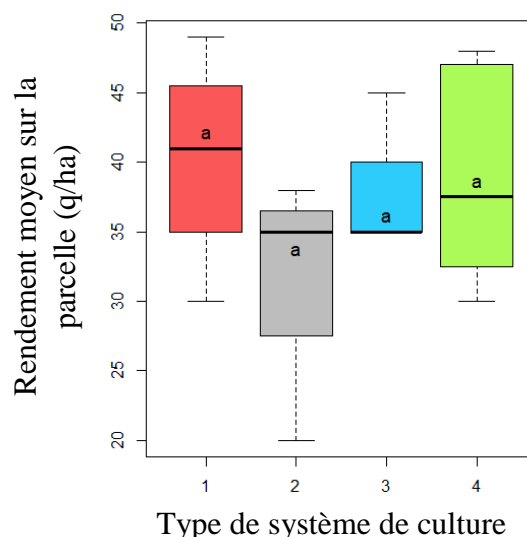


Figure 15 : Comparaison des rendements entre les quatre types de SDC

D'après la **Figure 15**, les types 1, 3 et 4 présentent des rendements assez similaires bien que les types 1 et 4 contiennent quelques SDC avec de très bons rendements (respectivement 49 et 47 q/ha). Le type 2 présente quant à lui les rendements les plus faibles avec un SDC au rendement particulièrement bas (20 q/ha).

D. Résultat de l'influence du paysage et des systèmes de culture

Tableau 5 : Résultat du modèle linéaire pour les trois indices écologiques de la communauté entière et des espèces problématiques

		Richesse spécifique		Abondance		Diversité	
		coeff	sig	coeff	sig	coeff	sig
Communauté problématique	(Intercept)	3.52	*	11.97		0.69	**
	Type de SDC 2	5.12	*	19.73		0.88	**
	Type de SDC 3	7.99	**	48.11	*	1.12	**
	Type de SDC 4	4.96	*	28.41		0.82	**
	Paysage axe 1	-0.08		-2.52		0.01	
	Paysage axe 2	0.72		0.33		0.13	
Communauté non problématique	(Intercept)	12.11	***	52.60	***	1.92	***
	Type de SDC 2	4.80	*	-10.43		0.37	
	Type de SDC 3	5.07	*	10.88		0.29	
	Type de SDC 4	2.69		9.81		0.17	
	Paysage axe 1	0.36		0.84		0.02	
	Paysage axe 2	1.60	**	12.07		0.06	

Sig (niveau de significativité) : *** < 0.001 ; ** < 0.01 ; * < 0.05

D'après les résultats du modèle (*Tableau 5*), le paysage ne semble pas avoir d'effet sur l'abondance et la diversité contrairement au SDC. L'axe 2 a néanmoins un effet positif sur la richesse spécifique des espèces non problématiques. Etant donné que le coefficient est positif (1,60), augmenter la proportion d'élément semi-naturel et réduire les cultures de printemps dans le paysage peut permettre d'augmenter la richesse spécifique des communautés non problématique dans la parcelle.

V. Discussion

A. L'établissement de la typologie

1. Analyse des résultats

La typologie réalisée a permis de confirmer l'hypothèse 1 car des similitudes de gestion ont permis de regrouper les SDC. Ils ont été répartis en deux sous catégories Blé sans association et alternative au blé avec association. Ces deux catégories sont divisées en un totale de quatre types caractérisés par des conditions de culture spécifiques.

Cette typologie est intéressante car elle distingue les types en fonction de la nature de la culture, de la nature du précédent et de l'intensité du travail du sol mis en place (sans labour, labour seul, labour et déchaumage). Or la culture en cours et le travail du sol sont deux éléments importants pour étudier l'effet des SDC sur la flore adventice (Freid et al, 2008).

2. Piste d'amélioration de la typologie

La base de données sur les systèmes de cultures contenait des informations sur les précédents culturaux mais aucune information n'était donnée sur la rotation ou la succession culturale mise en place dans le cadre du SDC. Or de nombreux auteurs accordent une place très importante à la rotation dans la gestion des plantes adventices en agriculture biologique. Anderson (2010) rappelle en effet l'importance de la rotation pour casser les dynamiques des plantes adventices. Il préconise des rotations longues contenant des fourrages de longue durée (au moins trois ans) pour, entre autre, briser correctement le cycle des adventices. Bàrberi (2002) quant à lui, rappelle que la composition de la rotation peut favoriser des types particuliers de plantes adventices. Par exemple, des rotations contenant beaucoup de culture vivace (trèfles) favorisent l'installation d'une flore adventice vivace composée des repousses de ces cultures.

Une amélioration possible de la typologie serait donc de prendre en compte la rotation / succession culturale pour l'établissement de la classification.

B. Retour sur les résultats des comparaisons des SDC

D'après les résultats obtenus, aucun des quatre types de SDC identifiés ne semble favoriser la biodiversité tout en limitant l'impact sur la productivité. L'hypothèse 2 ne peut donc pas être validée. Cependant, chaque système présente ses propres avantages.

Le type 1 ne donne pas de très bons résultats écologiques puisque ces indices de richesse et de diversité sont les plus faibles. Il présente néanmoins de bons résultats agronomiques. En effet, il s'agit du type présentant la plus faible abondance d'espèces problématique et le plus faible ratio d'espèces vivaces. Il s'agit également du type présentant les rendements les plus

intéressants (avec le type 4). Ces résultats semblent en désaccord avec la biographie. En effet, selon Buhler (1999), un précédent printemps après une culture d'hiver devrait favoriser le développement d'une communauté adventice riche et diversifiée. De plus, les semis précoces sont préconisés en agriculture biologique pour limiter l'abondance des plantes adventices (Munier-Jolain, 2018). Ce qui laisse supposer que d'autres éléments, non pris en compte dans cette analyse, interviennent dans l'établissement de la communauté.

A l'inverse le type 3 présente de très bons résultats écologiques mais les résultats agronomiques ne sont pas au rendez-vous, à l'exception du rendement qui reste correcte (entre 35 et 45 q/ha). La présence importante de plantes adventices et plus particulièrement d'espèces vivaces est probablement liée à l'absence de travail du sol des SDC du type 3. En effet, ces résultats sont similaires à ceux de l'expérience de Sans et al. (2001) menée en Suède. Ils ont alors observé qu'une réduction du travail du sol entraîne une augmentation de l'abondance des plantes adventices. Cependant, Zikeli et Gruber (2017) ont également montré que la réduction, voir la suppression du travail du sol en agriculture biologique entraînait une perte de rendement pouvant aller jusqu'à -67% du rendement des parcelles labourées. L'absence de perte de rendement peut venir du fait que même si le labour occupe une place importante dans la gestion des plantes adventices, ce n'est pas la seule technique employée. Par exemple, le type 3 est aussi caractérisé par la présence de désherbage qui peut éventuellement venir compenser l'absence de labour. En considérant les résultats écologiques et le rendement, ce système peut apparaître comme le meilleur. Cependant, il faut garder quelques réserves. La forte proportion d'espèces vivaces combinées à l'absence de labour pourrait à long terme faire chuter le rendement.

Dans le cadre de l'hypothèse 2, les types 2 et 4 constituent de bon compromis car l'abondance, la richesse et la diversité présentent des valeurs intermédiaires. Or il s'agit également des SDC présentant les densités de semis les plus fortes (tous types confondus). Ces résultats sont appuyés par ceux de Bond et Grundy (2001) qui ont montré qu'une densité de semis plus importante limitait le développement des plantes adventices. En ce qui concerne les résultats écologiques, ils proviennent probablement soit d'un effet du paysage, soit de la composition de la rotation. Le type 2 semble néanmoins moins bon car il présente les

rendements les plus bas (entre 20 et 38 q/ha) tandis que certains SDC du type 4 ont des rendements parmi les meilleurs (47 ou 48 q/ha).

Enfin, contrairement à ce qui était attendu (Corre-Hellou et al. (2012), l'association avec une légumineuse ne semble pas avoir d'effet probant sur les résultats écologiques ou agronomiques. De plus l'espèce cultivée n'a pas eu d'effet marqué non plus. Cependant cela peut s'expliquer par le fait que les cultures sont toutes des céréales d'hiver qui peuvent abriter des communautés assez similaires.

C. Retour sur l'effet du paysage

L'hypothèse 3 ne peut pas être pleinement validée. Il n'a pas été possible de tester des effets d'interaction entre le paysage et les SDC. De plus le paysage montre très peu d'effet significatif dans le cadre de cette étude. Cependant comme le montre divers auteurs il est assez difficile d'identifier un effet clair du paysage sur les communautés adventives.

Un effet positif du paysage sur les espèces les moins problématiques est cependant observé. La richesse spécifique de ces espèces est favorisée par la présence d'éléments semi-naturels dans le paysage. Les éléments semi-naturels constituent des zones refuges moins perturbées que les parcelles où les espèces peuvent s'implanter en attendant le retour de conditions favorables dans la culture.

D. Les limites de l'étude

1. Taille de l'échantillonnage

Faire des relevés floristiques et plus particulièrement caractériser les paysages constitue une tâche relativement longue. C'est pourquoi le jeu de données a été limité à 20 SDC / parcelles. Il a été ensuite réduit à 19 SDC / parcelles car l'un des relevés avait été réalisé après la récolte. À cause de cela les quatre types de SDC générés par la typologie contiennent peu d'individus statistiques. Le type 3 par exemple, ne contient que 3 SDC. Ainsi si l'une des valeurs est aberrante il est plus difficile de s'en rendre compte et de l'éliminer de l'analyse. De plus, un faible échantillonnage diminue la robustesse statistique des modèles. Une amélioration possible serait de mener l'étude avec un échantillonnage plus grand.

2. Pas de prise en compte du gradient d'agriculture biologique

L'agriculture biologique peut permettre de maintenir un meilleur niveau de biodiversité que l'agriculture conventionnelle (Hole et al., 2005). Les parcelles en agriculture biologique dans le paysage peuvent donc constituer des zones refuges pour les plantes adventices mais également des puits de plantes adventices pour la parcelle. Prendre en compte la proportion de culture en agriculture biologique aurait pu contribuer à expliquer certaines variations de la richesse et/ou de la diversité. Cependant, cette donnée n'a pas pu être analysée dans cette étude en raison d'un manque d'information sur le sujet.

VI. Conclusion

Cette étude avait pour but d'étudier les effets des différents types de SDC et du paysage sur les communautés adventices. Suite à quoi il était possible d'identifier des types de SDC en AB permettant à la fois de limiter l'abondance des plantes adventices tout en favorisant la biodiversité. Il en ressort au final qu'aucun type de SDC ne correspond exactement à ces critères mais que chaque type présente des avantages selon le point de vue considéré. Les types 1 et 3 présente de bon résultat sur un seul aspect de la question. Ce qui correspond à une abondance limitée pour le type 1, principalement pour les espèces problématiques et une biodiversité favorisée pour le type 3. Les types 2 et 4 ont à l'inverse des résultats plus modérés mais constituent de bon compromis en tenant compte des deux aspects de la question. Le type 2 est néanmoins légèrement moins bon car les rendements de ces SDC sont plus faibles. Dans cette étude le paysage a d'effet positif significatif sur la richesse des espèces les moins problématiques mais pas sur les autres indices. Il souligne cependant l'importance des éléments semi-naturels pour favoriser cette richesse. Cette étude a montré qu'il n'existait pas de système parfait ayant de bon résultats à la fois sur le plan économique et écologique pour la gestion des plantes adventices en agriculture biologique. Toutefois, elle a permis de mettre en évidence des compromis intéressants. Une piste d'approfondissement serait de compléter encore d'avantage la typologie afin d'identifier les meilleurs compromis possibles, notamment en incluant les successions culturales.

Bibliographie

- AFFSA (2008) Appui Scientifique et Technique de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la contamination de céréales destinées à l'alimentation humaine par de l'ergot. Saisine n° 2008-SA-0047, 7.
- Alignier A., Petit S., Bohan D.A. (2017) Relative effects of local management and landscape heterogeneity on weed richness, density, biomass and seed rain at the country-wide level, Great Britain. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **246**, 12–20.
- Altieri M.A. (1999) The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environnement* **74**, 19-31.
- Anderson, R.L. (2004) Sequencing crops to minimize selection pressure for weeds in the Central Great Plains. *Weed Technology* **18**,157–164.
- Anderson R.L. (2010) A rotation design to reduce weed density in organic farming. *Renewable. Agriculture and Food Systems* **25**, 189–195.
- Bàreberi P. (2001) Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research* **42**, 177–193.
- Barrett S.C.H. (1983) *Economic Botany* **37**, 255-282.
- Bond W. et Grundy, A.C. (2001) Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research* **41**, 383-405.
- Boucheron D., Chavassieux D., Cluzy V., Mareschal M., Manny N., Morreau C. et Pelce L. (2017) Premier résultat Variétés blé tendre d'hiver – Récolte 2017. 17.
- Buhler D.D. (1999) Expanding the context of weed management. *Expanding the Context of Weed Management*, 1–7.
- Cambecèdes J. et Gouéron G. (2014) Agir pour les messicoles. L'essentiel du plan national d'action 2012-2017. 8.
- Caussanel J.P. (1989) Nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture annuelle : situation de concurrence bispécifique. *Agronomie* **9**, 219-240.
- Choisis J.P. (2012) Analyzing farming systems diversity: a case study in south-western France. *Spanish Journal of Agricultural Research* **10**, 605-618.

Commission Européenne (2018) Règlement (UE) 2018/605 de la Commission du 19 avril 2018 modifiant l'annexe II du règlement (CE) n° 1107/2009 en établissant des critères scientifiques pour la détermination des propriétés perturbant le système endocrinien. 2.

Cordeau S., Dessaint F., Denieul C., Bonin L., Vuillemin F., Delattre M., Rodriguez A., Guillemain J.P., Chauvel B. (2016) La nuisibilité directe des adventices en grandes cultures : quelles réponses nous apportent les essais désherbage ? 12.

Corre-Hellou G., Dibet A., Hauggaard-Nielsen H., Crozat Y., Gooding M., Ambus P., Dahlmann C., von Fragstein P., Pristeri A., Monti M., Jensen E.S. (2011) Competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crop Research* **122**, 264-272.

Crawley MJ (2013) Analysis of variance in *The R book*. Edition Wiley, 498–536.

De Luca T.H. et De Luca D.K. (1997) Composting for feedlot manure management and soil quality. *Journal of Production Agriculture* **10**, 235–241.

Dessaint F. (2016) Les corrélations et la donction cor (). 6.

Dormann, C. F. (2007) Assessing the validity of autologistic regression. *Ecol. Model* **207**, 234-242.

Dormann, C. F. et al. (2007) Methods to account for spatial autocorrelation in the analysis of species distributional data: a review. *Ecography* **30**, 609-628.

EUROPA, (s.d.) EU Plant variety database (v.3.2) [En ligne], disponible sur : http://ec.europa.eu/food/plant/plant_propagation_material/plant_variety_catalogues_databases/arch/public/index.cfm?event=SearchForm&ctl_type=A%20. [Consulté le 26/04/19].

Fédoroff E., Ponge J.-F., Dubs F., Fernandez-Gonzales F., Lavelle P. (2005) Small-scale response of plant species to land-use intensification. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **105**, 283-290.

Fried G., Chauvel B., Reboud X. (2008) Evolution de la flore adventice des champs cultivés au cours des dernières décennies : vers la sélection de groupes d'espèces répondant aux systèmes de culture. *Innovations Agronomiques* **3**, 15-26.

Fried G. et Maillet J. (2018) Diversité et réponse de la flore adventice des champs cultivés à l'évolution des pratiques agricoles en France in *Gestion durable de la flore adventice des cultures*, éditions Quae, 39-57.

Fahrig L., Baudry J., Broton L., Bruel F.G., Crist T.O., Fuller R., Simari C., Siriwasena G.M., Martin J.L. (2011) Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology Letters* **14**, 101–112.

Gaborit A. (2017) Grandes cultures biologiques : les clés de la réussite. Guide technique. Chambre d'agriculture. 143.

Gabriel D., Roschewitz I., Tschardt T., Thies C. (2006) Beta diversity at different spatial scales: plant communities in organic and conventional agriculture. *Ecological Applications*, **16**, 2011–2021.

Gall O.T, Alain-Hervé Le (s.d) Zone-Atelier Armorique - OSUR [En ligne], disponible sur : <https://osur.univ-rennes1.fr/page/zoneatelier-quotarmoriquequot>. [Consulté le 04/04/19].

Garadin A., Dürr C., Colbach N. (2010) Effects of seed depth and soil structure on the emergence studies ? A review. *Weed Research* **49**, 177-130.

Hawes C, Squire GR, Hallett PD, Watson CA, Young M (2010) Arable plant communities as indicator of farming practice. *Agric Ecosyst Environ* **138**, 17–26. doi:10.1016/j.agee.2010.03.010.

Hole D.G., Perkins A.J., Wilson J.D., Alexander I.H., Grice P.V., Evans A.D. (2004) Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* **122**, 113–130.

Holzschuh, A., Steffan-Dewenter, I., Kleijn, D., Tschardt, T., (2007) Diversity of flower-visiting bees in cereal fields: effects of farming system, landscape composition and regional context. *J. Appl. Ecol.* **44**, 41–49.

IGN, (2012) BD ORTHO® 50 cm, Département de l'Ille-et-Vilaine.

INAO (s.d) L'agriculture biologique la qualité liée à un mode de production respectueux de l'environnement et du bien-être animale. 1.

INRA (2017) Qui sommes-nous ? [En ligne], disponible sur : <http://institut.inra.fr>. [Consulté le 04/04/19].

ITAB (2012) Annuelles germination toute l'année. 6.

Jaizein P. (1995) Flore des champs cultivés. Éditions Paris. 898.

Jaizein P. (2001) Biodiversité des champs cultivés : l'enrichissement floristique. *Dossier de l'environnement de l'inra* **21**, 43-64.

Latruffe L., Nauges C., Desjeux Yann (2013) Motivations et freins à la conversion en agriculture biologique des producteurs laitiers et légumiers : Résultats d'une enquête à grande échelle en Bretagne et en Pays de la Loire. 91.

Lawrence Lodge R.H.E., Anderson B.J., De Groot A., Bil, A., McQueen A.A.M., Steel J.B., Mistral M., Mason N.W.H., Bastow Wilson J. (2007) Spatial autocorrelation in plant communities: vegetation texture versus species composition. *Ecography* **30**, 801–811.
<https://doi.org/10.1111/j.2007.0906-7590.05040.x>.

Leblanc M., Cloutier D. (2006) La haute technologie au service de la lutte physique aux mauvaises herbes dans un contexte d'agriculture biologique. *Phytoprotection* **87**, 77.
<https://doi.org/10.7202/013976ar>.

Legendre P. (1993) Spatial autocorrelation: trouble or new paradigm? *Ecology* **74**, 1659-1973.

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**, 77–89.

Marshall, E.J.P. (2009) The impact of landscape structure and sown grass margin strips on weed assemblages in arable crops and their boundaries. *Weed Research* **49**, 107–115.

Munier-Jolain N, Médiène S., Meiss H. Boissinot F., Rainer W., Jacques C., Bretagnolle V. (2012) Rôle des prairies temporaire pour la gestion de la flore adventive dans les systèmes céréaliers. *Innovation agronomiques* **22**, 71-84.

Oerke E.C. (2005) Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science* **144**, 31–43.

OSUR (s.d.) ZA Armorique [En ligne], disponible sur : <https://osur.univ-rennes1.fr/za-armorique/>. [Consulté le 06/09/19].

Pagès, J. (2004) Analyse Factorielle de Données Mixtes. *Revue Statistique Appliquée* **4**, 93–111.

Paradis E., Claude J., Strimmer K. (2004) APE : analyse of phylogenetics and evolution of R language. *Bioinformatics* **20**, 289 – 290.

Pekrun C., Claupein N.W. (2006) The implication of stubble tillage for weed population dynamics in organic farming. *Weed Research* **46**, 414–423.

Pellentz M. (2018) Étude de l'effet d'un désherbage mécanique précoce sur la flore adventive dans un réseau de parcelles en système céréalier agrobiologique. 85.

Petit S., Alignier A., Colbach N., Joannon A., Le Cœur D., Thenail C. (2012) Weed dispersal by farming at various spatial scales. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **33**, 205 – 217.

Rasmussen I.A., Askegaard M., Olesen J.E. (2000) Plant protection in an organic crop rotation experiment for grain production. 11.

Rosenzweig M.L. (1995) *Species diversity in space and time*, Cambridge.

Sans F.X., Berner A., Armengot L., Mäder P. (2011) Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat-sunflower-spelt cropping sequence: Tillage effects on weeds in organic farming. *Weed Research* **51**, 413–421. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00859.x>.

Taylor B.R., Watson C.A., McKinlay R.G. Younie D., Cranstoun D.A.S. Current practices and future prospects for organic cereal production: survey and literature review. *research review* **45**, 94.

UMR BAGAP (2019) UMR BAGAP. [En ligne], disponible sur : <https://www6.rennes.inra.fr/bagap/UMR-BAGAP>. [Consulté le 06/04/19].

Zikeli S., Gruber S. (2017) Reduced Tillage and No-Till in Organic Farming Systems, Germany—Status Quo, Potentials and Challenges. *Agriculture* **7**, 35. <https://doi.org/10.3390/agriculture7040035>.

Annexes

Annexe 1 : Classification des espèces adventices présentes dans les parcelles (à dire d'expert)

Légende : Problématique (Pb) Non problématique (Non pb)

Espèce	Catégorie
Anthoxanthum odoratum	Pb
Agrostis stolonifera	Pb
Aphanes arvensis	Pb
Arabidopsis thaliana	Non pb
Arrhenatherum elatius	Non pb
Avena fatua	Pb
Avena sativa	Pb
Brassica napus	Pb
Briza minor	Non pb
Bromus secalinus	Non pb
Bromus sterilis	Pb
Calystegia sepium	Pb
Capsella bursa-pastoris	Non pb
Cerastium fontanum	Non pb
Chaerophyllum temulentum	Non pb
Chenopodium album	Pb
Cichorium intybus	Non pb
Cirsium arvense	Pb
Convolvulus arvensis	Pb
Crepis capillaris	Non pb
Crepis setosa	Non pb
Dactylis glomerata	Non pb
Daucus carota	Non pb
Elymus repens	Non pb
Epilobium tetragonum	Non pb
Fallopia convolvulus	Pb
Festuca arundinacea	Non pb
Fumaria muralis	Non pb
Galium aparine	Pb
Geranium dissectum	Non pb

Espèce	Catégorie
Hedera helix	Non pb
Holcus mollis	Non pb
Hordeum vulgare	Non pb
Hypericum humifusum	Non pb
Hypochaeris radicata	Non pb
Juncus bufonius	Non pb
Kickxia elatine	Non pb
Lactuca serriola	Non pb
Lamium purpureum	Non pb
Lapsana communis	Non pb
Lathyrus hirsuta	Pb
Linaria repens	Non pb
Lolium multiflorum	Pb
Lolium perenne	Non pb
Lysimachia arvensis	Non pb
Lythrum salicaria	Non pb
Matricaria inodora	Pb
Mercurialis annua	Non pb
Misopates orontium	Non pb
Myosotis sp.	Non pb
Oxalis fontana	Non pb
Papaver rhoeas	Non pb
Pisum sativum	Non pb
Plantago lanceolata	Non pb
Poa annua	Non pb
Poa trivialis	Non pb
Polygonum aviculare	Pb
Polygonum persicaria	Pb
Ranunculus repens	Non pb
Ranunculus sardous	Non pb

Espèce	Catégorie
Rumex acetosella	Pb
Rumex crispus	Pb
Rumex obtusifolius	Non pb
Rumex sp.	Non pb
Sherardia arvensis	Non pb
Silene latifolia	Non pb
Sinapis alba	Non pb
Sinapis arvensis	Pb
Sonchus arvensis	Pb
Sonchus asper	Pb
Stachys arvensis	Non pb
Stellaria graminea	Non pb
Stellaria media	Non pb
Taraxacum officinale	Non pb
Trifolium campestre	Non pb
Trifolium hybridum	Non pb
Trifolium pratense	Non pb
Trifolium repens	Non pb
Veronica arvensis	Pb
Veronica persica	Pb
Veronica serpyllifolia	Non pb
Vicia cracca	Non pb
Vicia faba	Non pb
Vicia hirsuta	Pb
Vicia lathyroides	Non pb
Vicia sativa	Non pb
Vicia tetrasperma	Non pb
Viola arvensis	Non pb
Vulpia myuros	Non pb

Annexe 2 : Matrice de corrélation de Pearson des variables caractérisant les SDC.

Les coefficients en couleurs sont supérieurs à $|0.7|$, les variables sont donc considérées comme redondantes. En rouge, la corrélation est négative, en vert, elle est positive.

	SE_deniste_leg	DH_nb	FO_N	FO_P	FO_K
SE_denise_cer	-0.48	-0.02	-0.25	-0.41	-0.18
SE_densite_leg		-0.58	-0.09	-0.17	-0.01
DH_nb			0.23	0.50	0.18
FO_N				0.81	0.91
FO_K					0.71

Annexe 3 : Matrice de corrélation de Pearson des variables paysagère.

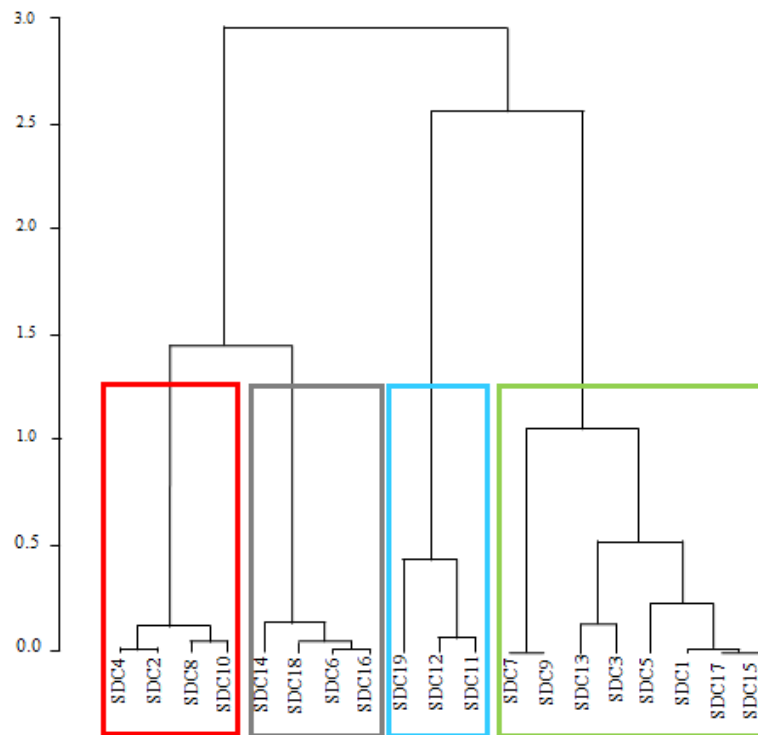
Les coefficients en couleurs sont supérieurs à $|0.7|$, les variables sont donc considérées comme redondantes. En rouge, la corrélation est négative, en vert, elle est positive.

	Prop_hiver	Prop_naturel	Prop_prairie	Prop_autre	Lg_haie	Surf_parcelle
Prop_printemps	-0.36	-0.41	-0.29	0.07	0.011	-0.09
Prop_hiver		-0.23	-0.11	-0.73	-0.23	0.36
Prop_naturel			-0.12	0.13	0.25	-0.51
Prop_prairie				-0.28	-0.15	0.44
Prop_autre					0.16	-0.42
Lg_haie						-0.17

Annexe 4 : Indice de Moran pour les trois indices écologiques mesuré sur la communauté entière et les espèces problématiques.

Catégorie	Variable	I Moran observé	I Moran attendu	Ecart-type	P
Générales	RS	0.028	-0.053	0.166	0.624
	Abondance	-0.095	-0.053	0.167	0.801
	Diversité	0.073	-0.053	0.174	0.472
Espèces problématiques	RS	0.344	-0.053	0.169	0.605
	Abondance	-0.026	-0.023	0.166	0.872
	Diversité	0.086	-0.053	0.158	0.378

Les résultats significatifs ($\alpha = 0.05$) sont caractérisés par *



Annexe 5 : Arbre de classification des systèmes obtenus à partir de la typologie

Annexe 6 : Fréquence, moyenne et écart types des variables utilisés pour décrire les types de SDC

	Pre_type			Dechaumage		TS_labour		CU_cer		
	Printemps	Prairie	Hiver	Oui	Non	Oui	Non	Blé	Mélange céréaliier	Autre céréale
Type 1	0.75	0	0.25	0	1	1	0	0.75	0	0.25
Type 2	0.25	0.50	0.25	0.75	0.25	1	0	1	0	0
Type 3	0.67	0	0.33	0	1	0	1	0	0	1
Type 4	0.13	0.13	0.74	0.50	0.5	0.88	0.12	0	0.63	0.37

	CU_leg				SE_mois		Se_densite_cer	
	Aucun	Féverole	Pois	Féverole et pois	Octobre	Novembre	Moy	ET
Type 1	1	0	0	0	0	1	163	17
Type 2	1	0	0	0	0.75	0.25	183	21
Type 3	0.33	0.67	0	0	1	0	110	17
Type 4	0	0.13	0.75	0.13	0.50	0.50	134	212

	Se_densite_leg		DH_nb		FO_compostage			FO_N	
	Moy	ET	Oui	Non	Pas de fumure	Oui	Non	Moy	ET
Type 1			0.50	0.50	0	0.50	0.50	102	17
Type 2			0.50	0.50	0.75	0	0.25	13	25
Type 3	30	44	0.67	0.33	0	0	1	81	2
Type 4	51	17	0	1	0.5	0.25	0.25	42	48

Moy = moyenne ; ET = écart type

Ces fréquences, moyenne et écart types sont utilisées pour décrire les types de SDC obtenus par la typologie. Pour chaque variable quantitative une modalité est choisie pour caractériser le type si la fréquence d'appariation de cette modalité parmi les SDC du type est d'au moins 0.75. Pour le type trois qui ne contient que trois SDC, le seuil est fixé à 0.67 (soit deux SDC sur trois). Il s'agit des cases en gras et en couleur dans le tableau.

Pour les variables quantitatives les moyennes et les écarts types sont comparé entre eux

Annexe 7 : Détails des corrélations entre les indices entre les communautés et les espèces problématiques et non problématiques

Les coefficients en couleurs sont supérieurs à |0.7|, les variables sont donc considérées comme redondantes. En rouge, la corrélation est négative, en vert, elle est positive.

	Richesse spécifique	
	Problématique	Non problématiques
Communauté entière	0.79	0.81
Espèces problématiques		0.40

	Abondance	
	Problématique	Non problématiques
Communauté entière	0.66	0.70
Espèces problématiques		-0.08

	Richesse spécifique	
	Problématique	Non problématiques
Communauté entière	0.66	0.83
Espèces problématiques		0.23

Annexe 8 : Résultat de l'anova pour la comparaison entre les communautés adventices des différents types de SDC

	Indice	Normalité	Homogénéité	p-value
Communauté problématique	RS	0.5538	0.9149	0.0161*
	Abondance	0.8955	0.3772	0.0803
	Diversité	0.7734	0.3141	0.0147*
Communauté non problématique	RS	0.2598	0.4729	0.2730
	Abondance	0.5908	0.7987	0.6500
	Diversité	0.2420	0.6057	0.3820
	rendement	0.1624	0.9689	0.42

Sig (niveau de significativité) : *** < 0.001 ; ** < 0.01 ; * < 0.05

Annexe 9 : Détail de l'anova visant à comparaison des SDC du point de vue des différents traits fonctionnels

Trait fonctionnel	Normalité	Homogénéité	p-value
Ration d'espèces vivace	0.8262	0.6483	0.939
Ration d'espèces à multiplication végétative	0.4555	0.3904	0.864

Sig (niveau de significativité) : *** < 0.001 ; ** < 0.01 ; * < 0.05