



**HAL**  
open science

## Dynamique de la flore de bandes enherbées et fleuries en fonction des pratiques de gestion

Pierre Alexandre Willot, Chantal Rabolin-Meinrad, Christian Bockstaller

### ► To cite this version:

Pierre Alexandre Willot, Chantal Rabolin-Meinrad, Christian Bockstaller. Dynamique de la flore de bandes enherbées et fleuries en fonction des pratiques de gestion. Sciences de l'environnement. 2015. hal-02910869

**HAL Id: hal-02910869**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02910869>**

Submitted on 3 Aug 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.



# *Dynamique de la flore de bandes enherbées et fleuries en fonction des pratiques de gestion*

*Rapport de fin d'étude*

Pierre-Alexandre Willot

M2 – Valorisation et Transformation des Productions Agricoles

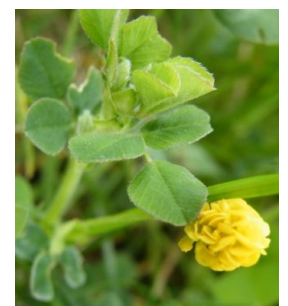


Tutrice UHA : Isabelle Soustre-Gacougnolle

Encadrant : Christian Bockstaller

Co-encadrante : Chantal Rabolin

Co-encadrant : Christophe Schneider



---

## Remerciements

Dans un premier temps, je tiens à remercier l'équipe pédagogique de l'UHA, côté Biopôle, et les intervenants associés pour leurs enseignements. Et plus particulièrement, Flore Mazet et Isabelle Soustre-Gacougnolle, sans qui, ce stage n'aurait pas eu lieu.

Je tiens à remercier Dr. Bockstaller d'avoir fait confiance aux deux enseignantes de l'UHA m'ayant recommandé et surtout de m'avoir fait confiance. Merci pour votre accueil au sein de votre équipe, vos critiques et apports sur l'analyse de cette dynamique de flore.

Je souhaite remercier particulièrement Chantal Rabolin et Christophe Schneider qui m'ont encadré, aidé et qui ont dû, souvent, supporter un stagiaire pleins de questions et d'hypothèses. Votre patience, vos critiques, vos pistes à étudier, ..., votre bonne humeur à vous deux ont été d'une grande aide.

Je tiens remercier l'équipe nancéenne. Tout particulièrement Sylvain Plantureux et Helmut Meiss pour leurs critiques constructives sur le plan écologique et Jean Villerd pour son aide quant à la méthodologie.

Je remercie aussi Gérard Hommay, ses stagiaires et Frédéric Hammel qui furent d'une grande aide lors de l'expérimentation concernant les micromammifères.

Je remercie les stagiaires de l'aile Est de la serre et leurs précieux temps utilisés pour les relevés floristique ou faunistique. Une pensée pour ma vieille camarade Emilie. Merci pour ces 3 années de folie (dont 6 mois de stage), de fructueuses collaborations et de (co)voiturage ! Antoine, je te remercie de ta bonne humeur, des discussions interminables presque ubuesques, et surtout d'avoir tenté de m'expliquer le sujet de ton stage, auquel je n'ai rien compris. J'espère que toi, oui ! A Marie, à sa jeunesse et joie de vivre ; et je te remercie de ne pas avoir craqué quand je t'enseignais les stats. A Thierno, qui m'a fait voyager dans son pays, la Guinée.

Aux autres membres de l'aile Est, Pauline Feschet, Nathalie Carnovale, Marie Thiollet-Scholtus, Marie Hertz, Aimé Blatz, les membres de l'ARAA pour les discussions lors des pauses, les gâteaux, etc merci beaucoup.

A tout ce que j'ai oublié ou pas cité mais qui se reconnaîtront ici.

A toi, petit campagnol mort le 24 juillet 2015 pour la Science ! Je ne t'oublierai point.

---

---

**« PRIMROSES AND LANDSCAPES, HE POINTED OUT, HAVE ONE GRAVE DEFECT: THEY ARE GRATUITOUS. A LOVE OF NATURE KEEPS NO FACTORIES BUSY. »**

**ADLOUS HUXLEY, BRAVE NEW WORLD**

**« LES PRIMEVÈRES ET LES PAYSAGES ONT UN DÉFAUT GRAVE : ILS SONT GRATUITS. L'AMOUR DE LA NATURE NE FOURNIT DE TRAVAIL À NULLE USINE. »**

---

---

## Liste des abréviations

Les abréviations utilisées pour les espèces végétales sont disponibles dans le Tableau 1 Espèces présentes sur l'essai en microparcelles entre 2009 et 2014, page A.

ACM : analyse des correspondances multiples

AD : agriculture durable

ANOVA (SSPD): analyse de variance (en *split-split-plot design*)

BDD : base de données

CAH : classification ascendante hiérarchique

HCPC : *Hierarchical Clustering on Principal Compounds* (classification hiérarchique sur les composantes principales)

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

JN : broyage de juillet puis novembre

JS : broyage de juillet puis septembre

N : broyage de novembre

PAC : Politique Agricole Commune

S : broyage de septembre

SPD : *split plot design* (parcelles divisées)

SR : *species richness* (richesse spécifique)

SSPD : *split-split plot design* (parcelles subdivisées)

ZSN : zone semi-naturelle

---

---

## Glossaire

Adventice : En agronomie, adventice désigne les végétaux indésirables dans un milieu de culture et pouvant entrer en concurrence avec cette dernière. Dans le cas présent, adventice désignera les plantes qui ne sont pas issus des mélanges de semences utilisés.

Biome : ensemble d'écosystèmes dans un même géoclimat.

Fleuri : désigne le mélange « fleuri » testé dans l'expérimentation, il est composé de légumineuse et de messicoles principalement.

Rudérale : plante qui tolère la perte (régulière) de biomasse.

Vert : désigne le mélange « vert » testé dans l'expérimentation, il est composé de graminées et légumineuses

---

---

## Sommaire

Remerciement .....	
Liste des abréviations.....	
Glossaire .....	
Table des annexes .....	
Table des figures .....	
Table des tableaux .....	
Table des équations.....	
1 Introduction.....	1
2 Présentation de la structure d'accueil.....	5
3 Matériel et méthode .....	6
3.1 Matériel.....	6
3.1.1 Mélanges utilisés.....	6
3.1.2 Microparcelles.....	6
3.2 Méthodes de relevé .....	7
3.2.1 Dates des relevés .....	7
3.2.2 Présence / Absence .....	7
3.2.3 Recouvrement .....	7
3.3 Méthodes de traitements des données .....	7
3.3.1 Indices utilisés.....	7
3.3.2 Méthodes paramétriques .....	8
3.3.3 Méthodes multivariées .....	9
3.3.4 Méthodes de classification.....	9
3.4 Plan de traitement des données.....	9
3.4.1 Approche factorielle.....	9
3.4.2 Approche taxonomique .....	10
3.4.3 Approche fonctionnelle.....	10
4 Résultats.....	11
4.1 Approche descriptive .....	11
4.2 Approche factorielle .....	11
4.2.1 Richesse spécifique (SR) .....	11
4.2.2 Diversité taxonomique .....	11
4.3 Approche taxonomique.....	13
4.3.1 Mélange vert .....	13
4.3.2 Mélange fleuri .....	13
4.4 Approche fonctionnelle .....	13
4.4.1 Groupes fonctionnels .....	13
4.4.2 Effet des modalités de broyage sur les groupes .....	14
5 Discussions .....	15

---

---

5.1	Intérêt de l'étude .....	15
5.2	Méthodologie .....	15
5.3	Analyse des résultats ; quels facteurs influent sur la dynamique de la flore ..	16
5.3.1	Composition du mélange .....	16
5.3.2	Modalités de broyage .....	17
5.3.3	Autres pratiques .....	18
5.3.4	Climat.....	19
5.3.5	Sol .....	19
5.3.6	Sol nu .....	20
5.3.7	Environnement des parcelles .....	20
5.3.8	Evènements particuliers .....	20
6	Conclusions et perspectives .....	22
6.1	Dynamique de la flore en bandes enherbées et fleuries.....	22
6.2	Intérêts des bandes enherbées et fleuries .....	23
6.3	Perspectives .....	23
6.4	Personnelle.....	25
	Bibliographie .....	
	Annexes .....	A

---



---

## Table des annexes

Annexe 1 Espèces présentes sur l'essai en microparcelles entre 2009 et 2014.....	A
Annexe 2 Matériels utilisés pour l'expérimentation microparcelles .....	C
Annexe 3 Equations des indices utilisés .....	D
Annexe 4 Choix des traits fonctionnels .....	E
Annexe 5 Approche descriptive – Résultats .....	H
Annexe 6 Approche factorielle – Résultats .....	Q
Annexe 7 Approche taxonomique – Résultats.....	W
Annexe 8 Approche fonctionnelle – Résultats .....	GG
Annexe 9 Expérimentation de capture marquage recapture de micromammifères sur l'essai microparcelle .....	JJ
Annexe 10 Comparaison avec les expérimentations semblables.....	PP

---

---

## Table des figures

Figure 1 Mélanges semés dans les microparcelles .....	C
Figure 2 Plan de l'expérimentation en microparcelles .....	C
Figure 3 Type biologique de Raunkiaer.....	E
Figure 4 Triangle des stratégies de Grime .....	F
Figure 5 Richesse spécifique du mélange vert par modalité de broyage .....	H
Figure 6 Biodiversité et équitabilité du mélange vert.....	I
Figure 7 Recouvrement dans le mélange vert.....	J
Figure 8 Recouvrement d'espèces dominantes dans le mélange vert .....	K
Figure 9 Richesse spécifique du mélange fleuri par modalité de broyage .....	L
Figure 10 Biodiversité et équitabilité du mélange fleuri .....	M
Figure 11 Recouvrement dans le mélange fleuri .....	N
Figure 12 Recouvrement des espèces dominantes dans le mélange fleuri .....	O
Figure 13 Richesse spécifique et pluviométrie (mm) par années et mélanges .....	P
Figure 14 Histogramme de la richesse spécifique en fonction du mélange.....	Q
Figure 15 Histogramme de la richesse spécifique par année .....	R
Figure 16 Histogramme de la richesse spécifique en fonction du mélange par année ...	R
Figure 17 Histogramme du log ( D ) en fonction des modalités de broyage .....	S
Figure 18 Histogramme du log ( D ) en fonction des années .....	T
Figure 19 Histogramme du log ( D ) en fonction du mélange et par année.....	U
Figure 20 Histogramme du log ( D ) en fonction des modalités de broyage et par année	V
Figure 21 Indices de Sorensen interannuels par modalité pour le mélange vert .....	CC
Figure 22 Indices de Sorensen intermodalités par année pour le mélange vert.....	CC
Figure 23 Dendrogramme du mélange vert par modalité et année.....	DD
Figure 24 Indices de Sorensen intermodalités par année pour le mélange fleuri .....	EE
Figure 25 Indices de Sorensen interannuels par modalité pour le mélange fleuri .....	EE
Figure 26 Dendrogramme du mélange fleuri par modalité et année .....	FF
Figure 27 Score moyen du groupe 1 par mélanges, modalités de broyage et années...	HH
Figure 28 Score moyen du groupe 2 par mélanges, modalités de broyage et années...	HH
Figure 29 Score moyen du groupe 3 par mélanges, modalités de broyage et années.....	II
Figure 30 Score moyen du groupe 6 par mélanges, modalités de broyage et années.....	II
Figure 31 Protocole de CMR sur l'essai microparcelle.....	MM
Figure 32 Première page de la fiche d'enregistrement de l'expérience de CMR sur l'essai microparcelles .....	NN
Figure 33 Résultats de la campagne de CMR sur l'essai microparcelles.....	OO

---

---

## Table des tableaux

Tableau 1 Espèces présentes sur l'essai en microparcelles entre 2009 et 2014 .....	A
Tableau 2 Résultats des deux ANOVA SSPD pour la diversité taxonomique (biodiversité) et la richesse spécifique (Species richness).....	Q
Tableau 3 Matrice scorée des espèces présentes dans le mélange vert par modalité de broyages et années .....	W
Tableau 4 Matrice scorée des taxons présents dans le mélange fleuri par modalités de broyage et années .....	Y
Tableau 5 Légende du score de matrices scorées des espèces présentes .....	BB
Tableau 6 Groupes de traits fonctionnels possible sur les microparcelles .....	GG
Tableau 7 Principales caractéristiques de trois expérimentations testant l'effet de modalités de gestion de bandes fleuries sur l'évolution de la diversité floristique. ....	PP

## Table des équations

Équation 1 Indice de similitude de Sorensen .....	D
Équation 2 Indice de diversité de Simpson.....	D
Équation 3 Indice réciproque de Simpson .....	D
Équation 4 Indice d'équitabilité (de Simpson) .....	D
Équation 5 Distance écologique .....	D
Équation 6 Score "taxonomique" .....	D
Équation 7 Score des groupes fonctionnels .....	D

---

---

## 1 Introduction

A la fin des années 40, l'agriculture française doit soutenir une demande alimentaire massive. C'est alors qu'en France, lors du début des années 50, une importante modernisation du secteur agricole se met en place. Ceci eut pour conséquences l'utilisation massive d'engrais de synthèse et de produits phytopharmaceutiques, de nouvelles variétés plus performantes, ainsi qu'une démocratisation de la mécanisation du travail du sol à la récolte. Cette combinaison permit l'essor de l'agriculture intensive. Ce développement rapide et intensif s'est accompagné par un changement des pratiques agricoles, non sans conséquence sur un plan économique, social et environnemental.

Si nous observons le volet environnemental de ce développement agricole, il y a eu de nombreux impacts néfastes. Ces impacts sont dus en partie par la simplification des paysages agricoles fermés, laissant place à des paysages ouverts, dit d'*openfield* (champs ouverts). Contaminations des nappes souterraines (nitrate et par les produits phytopharmaceutiques), cours d'eau (par les phosphates et nitrate) et des sols, érosions et appauvrissements biologiques de ces derniers, disparitions de nombreuses espèces (floristiques et faunistiques), fragmentations des habitats naturels (Grassein, 2009) ne sont qu'une partie de ces impacts. Face à ces conséquences nuisibles, la société a pris conscience que ces activités sont les principales menaces sur la biodiversité. Actuellement, plus aucun biome (voire écosystèmes) n'existent sans porter les stigmates de l'influence humaine (Burylo, 2010). La communauté scientifique s'est donc regroupée lors de conférences mondiales : Stockholm en 1972, Rio en 1992 et 2012, Kyoto en 1997, *ex* : pour dresser un tableau à l'échelle mondiale de la problématique et proposer des actions et/ou solutions. C'est lors de la conférence de Rio de Janeiro en 1992 que le concept de *sustainable agriculture* (agriculture durable) fut reconnu par la communauté internationale, ceci de manière officielle.

L'Union Européenne a donc dû se munir de moyens d'actions. Concernant l'agriculture, la PAC et ses diverses réformes (1992, 1999, 2003 et 2008) ont incité, voire contractualisé, les agriculteurs quant à leurs gestions des éléments du paysage (Cordeau, et al., 2011). Une des actions possibles pour restreindre l'érosion de la biodiversité dans les paysages de grandes cultures est de réinstaurer des zones semis-naturelles (ZSN), telles que bandes enherbées, fleuries, jachères ou haies (Le Roux, et al., 2008). Ces changements d'orientations et réformes eurent des retentissements sur le milieu de la recherche. Des financements ont été alloués au domaine de l'agro-écologie et de l'évaluation environnementale, dans l'optique de trouver des techniques permettant de réduire l'utilisation d'intrants chimiques ou tout du moins de limiter

---

leurs impacts sur les écosystèmes et plus largement l'environnement. Les bandes enherbées possèdent plusieurs utilités, que cela soit limiter la dérive des phytosanitaires et engrais vers les surfaces aquatiques ou encore comme réservoir de biodiversité. Elles sont d'ores et déjà obligatoires le long des cours d'eau.

Dans l'autre sens, concernant la dispersion des espèces et les adventices de cultures vers la parcelle cultivée, une bande est **un bon moyen de gérer ce risque** avec ou sans fauche (De Cauwer, et al., 2008).

Les bandes enherbées peuvent permettre la **diminution des intrants chimiques** (Altieri, 1998 ; Smith et al., 2008), car elles peuvent limiter la dispersion d'adventices aux cultures en synergie avec d'autres ZSN. Mais le passage d'un engin agricole, pour une fauche par exemple, nécessite l'usage d'énergie fossile (non-renouvelable) et pourrait favoriser un tassement du terrain (le sol n'étant plus, généralement, travaillé). Une multiplication des fauches pourrait aussi avoir un effet négatif, aussi bien sur la flore que sur la faune.

En ce qui concerne la faune, les bandes enherbées ont un effet positif sur celle-ci. Une richesse spécifique élevée contribue à **l'hétérogénéité des habitats pour l'entomofaune** (Asteraki, et al., 2004). L'utilisation de bande enherbée permet l'augmentation et le maintien des **auxiliaires de culture** (Colignon, et al., 2004). Les invertébrés touchés sont les *Auchenorrhyncha*, les *Hétéroptera*, les *Araneae*, les *Coleoptera* (Asteraki, et al., 2004), les *Tachinidae*, les *Trichogramma* (Olsen, et al., 2007). L'introduction de fleurs sauvages favorise les aphidiphages<sup>1</sup> spécialistes, les pollinisateurs et des auxiliaires de culture (Colignon, et al., 2004). Les pratiques (le mélange utilisé, principalement) peuvent influencer de manière positive les abeilles domestiques et être préjudiciable aux pollinisateurs sauvages (Gadoum, et al., 2007). En ce qui concerne le sol, la diversité de la macrofaune<sup>2</sup> est plus importante dans la bande enherbée (sans influence du mélange utilisé) que dans la parcelle cultivée (Smith, et al., 2008). Pour les vertébrés, il n'y a pas d'influence des bandes sur l'abondance des micromammifères (Cordeau, et al., 2009).

Les bandes enherbées peuvent jouer un **rôle patrimonial**, donc de biologie de la conservation. Cependant aucune étude n'a été effectuée sur ce service ou sur l'apport des bandes à la patrimonialisation des paysages ruraux. L'introduction de messicoles, telles que *Agrostemma githago* et *Glebionis segetum*, et d'autres espèces fleuries ont pour but d'augmenter potentiellement ce service et l'acceptation **de ces bandes par les agriculteurs et les concitoyens**.

---

<sup>1</sup> Qui se nourrissent d'aphides (surtout de pucerons).

<sup>2</sup> Faune dont le diamètre fait plus de 2 mm.

---

A l'échelle du territoire agricole, peu d'études portent sur leurs possibles utilités en tant que **corridors écologiques**, favorisant la connectivité entre les éléments du paysage et limitant la **fragmentation du paysage**. Pourtant la connectivité entre les divers éléments paysagers favorise le mouvement et la survie de certaines espèces (Burel, et al., 1999 ; Vanderger, et al., 2005). De plus si la fragmentation du paysage a un impact négatif fort sur la biodiversité. L'hétérogénéité peut être augmentée par l'implantation de bandes enherbées et fleuries, qui elles la favorisent (Benton, et al., 2003). Cela dit, il existerait un **seuil de composition du paysage** (rapport entre ZSN et zones cultivées) au-dessus duquel **le paysage compenserait des effets des pratiques agricoles** sur la diversité spécifique et en dessous duquel les pratiques auraient un effet sur la diversité spécifique (des espèces mobiles) (Le Roux, et al., 2008). Ce seuil de composition se situerait autour de 20 % (Tschardtke, et al., 2011).

En 2008, l'équipe AD de l'INRA Colmar s'est lancée dans une expérimentation en parcelles sur la question de la gestion des bandes enherbées et fleuries. Le but étant de combler le manque d'études pluriannuelles sur l'effet des pratiques (mélange utilisé et modalités de gestion). Les seules études longues (10 ans) ont été menées par Bokenstrand et al. (2004) et Smith et al. (2010). D'autres expériences ont été publiées concernant les modalités de gestion mais conduites à court / moyen terme (De Cauwer, et al., 2005). En 2009, avec l'expérience obtenue avec la première expérimentation de 2008, l'équipe AD a participé au projet ANR<sup>3</sup> ADVHERB. Ces deux projets ont pour objectifs principaux de restaurer la biodiversité, de limiter l'application de produits phytopharmaceutiques et l'invasion d'adventices<sup>4</sup>.

C'est dans ce cadre que s'inscrit mon stage de dernière année de master basé au sein de l'équipe AD de Colmar. Ma mission est double, à la fois effectuer des relevés floristiques sur le terrain<sup>5</sup> avec une partie de l'équipe et effectuer l'analyse de la dynamique de la flore des bandes enherbées (et fleuries) sur 6 ans.

J'ai réalisé 3 des 4 relevés annuels de 2015 sur les essais en microparcelles (implantation 2008) et en grandes parcelles (implantation 2009), ajoutant une quantité de données supplémentaire à l'essai. Quelles sont les effets des modalités de gestion (fauches) sur la flore de bandes fleuries ou enherbées ? L'hypothèse traitée est qu'une bonne gestion maintiendrait ou augmenterait la diversité de ces bandes. Quant à la caractérisation de la

---

<sup>3</sup> Agence National de Recherche

<sup>4</sup> Ici, des grandes cultures

<sup>5</sup> Microparcelles, grandes cultures et dans le vignoble

---

dynamique de la flore des essais sur microparcelles, **4 approches** ont été retenues. La première est simplement une **approche descriptive** (qui ne sera pas développée dans ce rapport), vise à donner des pistes pour la suite ou à aider quant à la compréhension. La seconde est une **approche factorielle** visant à tester l'effet de facteurs explicatifs (fixes : mélange de semis et modalités de broyages, aléatoire : le climat sur la diversité taxonomiques. L'**approche taxonomique** (la troisième) vise à aller loin dans l'analyse des résultats de manière qualitative, en termes d'espèces et de familles. La dernière approche, **l'approche fonctionnelle** consiste à se séparer des taxons pour appréhender les communautés végétales présentes par fonctions écologiques. Cette approche est construite sur le constat suivant : les mesures classiques de la diversité expliquent moins bien le fonctionnement des écosystèmes que la diversité de fonction (Hooper, et al., 2005).

Cette étude à **moyen / long terme** (2009-2014) vise à caractériser la **dynamique de la flore** des microparcelles en fonctions des **pratiques de gestion** et du **mélange utilisé**. Elle donnera des éléments de réponses quant à l'évolution des **taxons**, de la **diversité**, ou des **fonctions** présentes selon les **modalités appliquées**. Elle permettra en croisant les données avec celle des grandes cultures d'extrapoler les données à un système agricole.

---

## 2 Présentation de la structure d'accueil

L'INRA est un EPST<sup>6</sup> fondé en 1946. Il est dédié à la recherche et l'innovation dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement. Aujourd'hui, l'institut est considéré comme le premier sur un plan européen et le second sur le plan mondial, en termes de nombre de publications scientifiques.

La recherche agronomique date de la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle sur le territoire alsacien. C'est à Rouffach que s'installe la première station de recherche sous l'autorité impériale allemande en 1874. Après le retour du territoire à la France en 1918, la station se fait intégrer à l'IRA<sup>7</sup>. En 1929, la station devient le CRA<sup>8</sup>. 37 ans plus tard, de nouveaux locaux à la fois plus spacieux et modernes, sont construits à l'emplacement de ce qui allait devenir le Biopôle colmarien. Une partie des laboratoires restera en centre ville de Colmar jusqu'en 1999. Hormis l'INRA, le site du Biopôle rassemble simultanément l'IUT<sup>9</sup> de Génie Biologique, le FMA<sup>10</sup> (tous deux issus de l'Université de Haute Alsace), le Laboratoire Vétérinaire Départemental, l'ONF<sup>11</sup> et des instituts techniques divers.

Les recherches du centre INRA de Colmar s'axent autour de la vigne. Elles vont de la vinification, à la virologie, la génétique ou la biologie moléculaire. Cependant, le centre de Colmar est concerné par la thématique agri-environnementale, via l'équipe AD. Cette équipe est partie intégrante de l'UMR<sup>12</sup> Agronomie et Environnement (LAE). Cette équipe s'associe à une équipe de Nancy de l'ENSAIA<sup>13</sup>. L'ensemble est associé à une équipe nancéenne (Université de Lorraine) travaillant sur les métabolites secondaires, au sein du LAE. Le LAE est attaché au département INRA Environnement et Agronomie.

L'équipe AD colmarienne, animée par Christian Bockstaller, est reconnue pour son travail sur l'évaluation environnementale grâce aux indicateurs agri-environnementaux (INDIGO®, PhytoChoix®) mise en place dans l'équipe. L'étude de bandes enherbées en systèmes agricoles a émergé depuis quelques années comme nouveau sujet de recherche dans le cadre d'un centrage thématique de l'équipe AD sur l'évaluation des effets des pratiques agricoles sur la biodiversité.

---

<sup>6</sup> Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique

<sup>7</sup> Institut de Recherches Agronomiques

<sup>8</sup> Centre de Recherches Agronomiques d'Alsace

<sup>9</sup> Institut Universitaire de Technologie

<sup>10</sup> Faculté de Marketing et d'Agrosciences

<sup>11</sup> Office National des Forêts

<sup>12</sup> Unité Mixte de Recherche

<sup>13</sup> Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie et d'Industries Alimentaires



---

## 3 **Matériel et méthode**

L'expérimentation est scindée en deux parties distinctes sur le site. La première a été construite et menée par l'équipe AD de l'INRA Colmar, et de manière autonome, sur des microparcelles. La seconde expérimentation en grandes parcelles, qui s'est inscrite dans le projet ANR ADVHERB avec l'Université de Lorraine, le CNRS de Chizé et l'INRA de Dijon et de Grignon.

### 3.1 **Matériel**

#### 3.1.1 **Mélanges utilisés**

Les mélanges utilisés (Figure 1, page C) sont de compositions différentes.

Le mélange fleuri a été élaboré avec une majorité de plantes possédant des attributs nectarifères et pollinifères intéressants et présentant des cycles différents (annuelles, bisannuelles, vivaces); l'objectif était double, directement de maximiser les ressources exploitables par les pollinisateurs et autres insectes colonisateurs de ce milieu floral et indirectement de par la richesse chromatique des fleurs, faciliter l'acceptation de par les agriculteurs et la population en tant que service patrimonial.

Le mélange vert comporte un assortiment à base de poacées et fabacées, homologué afin de pouvoir obtenir des subventions PAC dans le cadre d'une utilisation (en jachère, définie par un cahier des charges) par les agriculteurs (choix en 2009, n'existant plus dans les normes actuelles).

#### 3.1.2 **Microparcelles**

Les 24 parcelles (Figure 2, page C) de 2.4 m x 21 m ont été semées en 2008 sur le domaine de l'INRA de Colmar, une moitié en vert et une autre en fleuri. Quatre modalités de broyage sont appliquées, septembre, novembre, juillet-septembre et juillet-novembre. Pour chaque groupe de modalités il y a trois répétitions (ou blocs). L'attribution des modalités de broyage se fait aléatoirement par tirage au sort. Le dispositif expérimental est en split-plot design avec pour facteur principal le type de mélange et en facteur secondaire la modalité de broyage. Le broyage s'effectue à une hauteur d'environ 20 cm sans exportation, ceci étant fait pour approcher au plus de la réalité agricole des exploitations de grande culture sans élevage. Les antécédents culturaux à l'emplacement des microparcelles, était une rotation blé / maïs, et il y a une dizaine d'années betterave/maïs/blé

---

## 3.2 Méthodes de relevé

### 3.2.1 Dates des relevés

Tous les ans, les relevés sont réalisés en avril, puis juin, juillet et en septembre.

### 3.2.2 Présence / Absence

Ces relevés consistent à inventorier la présence ou l'absence des espèces dans les modalités. Si une espèce est inconnue, elle est identifiée avec l'aide d'une flore ou d'un botaniste et entrée dans le relevé. La présence / absence se fait sur la surface totale d'une microparcelle, soit 50,4 m<sup>2</sup>, et ceci pour chaque microparcelle.

### 3.2.3 Recouvrement

Ces relevés consistent à estimer les recouvrements en pourcent des espèces présentes dans des quadrats définis et du sol nu. La position des quadrats est définie aléatoirement par un plan d'échantillonnage avec deux quadrats par microparcelles, en s'éloignant des bordures. Les quadrats font 1 m<sup>2</sup> et sont placés chaque année à la même place.

## 3.3 Méthodes de traitements des données

Les données issues des relevés sont stockées dans des BDD<sup>14</sup> sur Excel. Elles ont été remaniées avec le même logiciel avant d'être traitées avec le logiciel R (R Core Team, 2014) ainsi que les packages associées *ade4* (Dray, et al., 2007), *FactoMineR* (Husson, et al., 2015), *agricolae* (de Mendiburu, 2014) et *RVAideMemoire* (Hervé, 2015)

### 3.3.1 Indices utilisés

Pour évaluer la biodiversité, différents indices sont utilisés (Magurran, 2004) :

- Richesse spécifique (SR)

La richesse spécifique s'obtient grâce aux relevés de **présence / absence**, où elle renseigne le nombre d'espèces présentes.

- Indice de diversité de Simpson (D)

L'indice de diversité de Simpson (Équation 2, page D) mesure la **probabilité** que deux individus tirés au hasard au sein d'une population soient de la même espèce. *Stricto sensu* il s'agit d'un **indice d'entropie** plus que de diversité.

- Indice réciproque de Simpson (Z)

L'indice réciproque de Simpson (Équation 3, page D) est un **indice de diversité**. La valeur de Z renvoie aux nombres d'**espèces dominantes** dans le milieu considéré.

- Indice d'équitabilité (E)

---

<sup>14</sup> Base de données.

---

L'indice d'équitabilité (Équation 4, page D) représente l'**équitabilité** du milieu entre les espèces dominantes (Z) et les espèces présentes (SR).

- Indice de similitude Sorensen (S)

L'indice de similitude de Sorensen (Équation 1, page D) permet de mesurer la **similarité** en terme spécifique entre deux modalités.

- Distance écologique (De)

La distance écologique (Équation 5, page D) est la **dissimilitude** entre deux objets écologiques en terme spécifique (ici, des populations végétales).

- Score « taxonomique »

Ce score (Équation 6, page D) permet de mieux prendre en compte la dynamique de chaque taxon dans l'essai et le temps.

- Score « fonctionnel » (Liira, et al., 2008)

Ce score (Équation 7, page D) permet de prendre en compte le recouvrement de l'espèce mais aussi sa fréquence en termes d'apparition (par rapport aux espèces présentes à cet instant).

### 3.3.2 Méthodes paramétriques

#### 3.3.2.1 ANOVA SSPD

Avant d'effectuer l'ANOVA SSPD, la **normalité** puis l'**homoscédasticité** des échantillons (facteur de réponse par rapport à une ou des variables explicatives) sont testés, respectivement par un test de Shapiro-Wilk puis par un test de Bartlett. Les facteurs de réponses sont ici quantitatifs continus et les variables explicatives qualitatives. La normalité et l'homoscédasticité des résidus sont aussi vérifiées mais par lecture graphique.

L'ANOVA SSPD permet d'accroître la puissance ( $\beta$ ) statistique par rapport à une ANOVA plus classique (pour les expérimentations en SSPD). Le SSPD permet d'intégrer plusieurs paramètres, en premier lieu d'intégrer le **facteur bloc** (répétition), ensuite dans un second temps le **mélange** (vert ou fleuri), puis les 4 **modalités de broyages** et d'intégrer le facteur **temps** en dernier lieu.

Les mesures étant répétées dans le temps, nous devons respecter l'indépendance des observations dans le cadre de ce modèle d'ANOVA (ne prenant pas en compte la répétition de mesures). Un test de sphéricité de Mauchly suivit d'une correction de  $\varepsilon$  par la méthode de Greenhouse et Geisser seront effectués, afin de corriger les degrés de liberté et par la même les *p-value*.

---

### 3.3.3 Méthodes multivariées

#### 3.3.3.1 Analyse des correspondances multiples (ACM)

L'ACM est une analyse **multifactorielle** ne nécessitant aucun pré-requis (normalité, homoscedasticité, par exemple). Elle s'applique au tableau de type *individus* × *variables qualitatives*. Elle permet de connaître les liaisons intermodalités, inter-espèces et entre espèces et modalités.

### 3.3.4 Méthodes de classification

#### 3.3.4.1 Classification ascendante hiérarchique (CAH)

La CAH est une méthode de classification qui permet à partir de **dissimilarités** entre objets de créer un **dendrogramme** hiérarchisant les modalités entre-elles. La méthode choisie est ascendante et par extension celle du saut minimum, c.a.d. de regrouper pas à pas les **modalités** les plus proches (distance euclidienne), ainsi de suite afin de construire l'arbre.

#### 3.3.4.2 Hierarchical Clustering on Principal Components (HCPC)

L'HCPC (Classification Hiérarchique sur Composantes Principales) est une **CAH** particulière. La principale particularité est que les dissimilarités choisies, dans ce cadre, sont les distances (euclidiennes) **entre espèces** obtenues à partir des résultats de l'ACM.

## 3.4 Plan de traitement des données

L'analyse des données est scindée en **3 approches distinctes**, ceci pour répondre à des questions précises concernant la **dynamique de la flore** des essais. Une approche préliminaire, **descriptive** est réalisée. Elle permet de mieux connaître et comprendre les données et de concevoir les approches suivantes.

### 3.4.1 Approche factorielle

Cette approche permet de comprendre, quels sont les facteurs influant la **dynamique des populations** de l'essai en microparcelles et s'il y a entre facteurs fixes.

Pour répondre aux deux premières questions nous utiliserons une ANOVA SSPD<sup>15</sup> avec pour facteurs de réponses soit la richesse spécifique (SR), soit l'indice de Simpson (D)<sup>16</sup>. Les tests post hoc seront des LSD<sup>17</sup> de Fisher.

---

<sup>15</sup> S'il y a un effet d'interaction entre facteurs, l'effet simple de chaque facteur ne sera pas étudié en profondeur et ne servira qu'à appuyer les propos de l'effet d'interaction.

<sup>16</sup> Transformé par log10, pour respecter la normalité des données.

<sup>17</sup> *Least Significant Difference* (plus petite différence significative).

---

### 3.4.2 Approche taxonomique

Cette approche permet d'approfondir l'aspect spécifique de l'expérimentation et ainsi caractériser la dynamique des espèces sur les modalités appliquées. Y a-t'il des **ressemblances taxonomiques** entre modalités ? Y a-t'il des ressemblances taxonomiques au cours du temps dans un même mélange ?

Pour répondre à la première question, nous avons utilisé simplement **l'indice de similitude de Sorensen**. Pour la seconde question, nous avons réalisé une **CAH** à partir des distances écologiques obtenues à partir des indices de Sorensen. La **CAH** a été réalisée par mélange et sur toutes les années et modalités de broyage.

Pour comprendre la dynamique des taxons, deux matrices sont construites (une par mélange). Ces matrices prennent en compte les modalités de broyages et les années. A la place de la présence / absence plus classique, un score est calculé (Équation 6, page D) pour chaque espèce par année.

### 3.4.3 Approche fonctionnelle

Cette approche permet de passer outre l'aspect taxonomique des données afin de créer des groupes de **traits fonctionnels** communs et d'appréhender la dynamique, non-plus, du côté spécifique pure mais de la **fonction écologique** des populations présentes. Combien de groupes et de quels fonctions pouvons-nous faire à partir de la flore présente par année ? Observons-nous une évolution temporelle de ces groupes par modalité ?

Pour la première question, une **ACM** a été réalisée sur toutes les espèces présentes sur l'essai, avec pour traits fonctionnels le type biologique de Raunkiaer, la stratégie de Grime et la hauteur maximale (en classe) (Annexe 4, page E). Le type biologique de Raunkiaer a été choisi car correspondant à la position des organes de survie d'une plante, selon cette position la fauche n'aura pas le même impact sur les individus. La stratégie de Grime correspond à la réponse d'une plante à différents facteurs de son environnement. La hauteur a été choisie parce qu'avec une fauche, selon la hauteur maximale atteignable par une plante, l'impact ne sera pas le même entre les individus. Sur les résultats de l'**ACM**, une **HCPC** a été appliquée. Elle permettra d'obtenir des groupes d'individus et *a priori* de **traits fonctionnels** (cohérents).

Pour répondre la dernière question, des graphiques ont été exploités par rapport aux groupes dominants. Le poids des groupes est construit à partir des scores « fonctionnels » (Équation 7, page D).

---

## 4 Résultats

### 4.1 Approche descriptive

Les résultats de cette approche sont décrits en Annexe 5 à la page H.

### 4.2 Approche factorielle

#### 4.2.1 Richesse spécifique (SR)

L'ANOVA donne des différences significatives au niveau du mélange, des années, de l'interaction année et mélange (Annexe 5 Tableau 2, page Q). Nous commentons ici uniquement l'effet des interactions mélange \* année (Figure 16, page R). Les commentaires sur les effets de simples facteurs sont décrits en annexe (Annexe 6, page Q).

- Mélange vert :

La première année d'implantation (2009) est la plus basse en terme de SR (14,25 ; classe k). Elle augmente de 6,92 espèces l'année suivante. De 2010 à 2013, une faible augmentation régulière du nombre d'espèces se fait (passant de 21,17 à 23,83). En 2014, la SR baisse de nouveau à 22,5 espèces pour le mélange vert (classe e)

- Mélange fleuri :

La première année d'implantation est relativement haute pour la SR (23,6). Elle chute de quasiment 4 espèces entre 2009 et 2010. L'augmentation du nombre d'espèces est régulière entre 2010 et 2012. Entre 2012 et 2013, l'augmentation est plus importante, soit 5,3 espèces supplémentaires. L'année 2013 pour le mélange fleuri est la plus riche en termes d'espèces présentes (classe a). L'année 2014, la SR (22,4 ; classe e) est comparable avec celle du mélange vert (22,5, classe e).

- Comparatifs des mélanges :

Ce qui est observable, de prime abord, est que la SR du mélange fleuri est globalement supérieure à celle du mélange vert, hors 2010, où le mélange vert est supérieur au fleuri (classe i face à classe j).

#### 4.2.2 Diversité taxonomique

L'ANOVA pour l'indice de Simpson (transformé en log10) donne des différences significatives au niveau des modalités de broyage, des années, de l'interaction année et mélanges et de l'interaction année et modalités de broyage (Tableau 2, page Q). Les deux effets d'interaction observés sont décrits dans cette partie, les effets simples sont décrits en annexe (Annexe 6, page Q).

- 
- Interactions entre les années et les mélanges (Figure 19, page U) :

- Mélange vert :

L'année 2009 est la plus diversifiée du mélange (classe d) ; s'en suit une année de chute avec la diversité la plus basse (classe a). Les années suivantes sont très similaires par la suite, entre 2011 et 2014 les seuls classes sont respectivement cd, bc, cd et cd.

- Mélange fleuri :

L'année d'implantation est la plus diversifiée (classe e), puis il y a une chute importante de la biodiversité de 2010 à 2011 (classe a). Suite à 2011 il y a une augmentation, 2012 et 2013 correspondent à un pallier dans la biodiversité (classe d). En 2014, il y a une chute de la biodiversité où l'indice correspond à celui de 2010 (classe ab).

- Comparatifs des mélanges :

Le mélange fleuri est, généralement, plus diversifié que son homologue vert ; mis à part la stagnation de 2011 et 2014 où la biodiversité dans le mélange fleuri ( $\log(D) = -0,65$ ) est moindre que celle du mélange vert ( $\log(D) = -0,76$ ).

- Interactions années et modalités de broyage (Figure 20, page V) :

- Broyage de septembre :

La biodiversité lors de l'année d'implantation est la plus haute. L'année n+1 est la plus basse ; elle est suivie d'une augmentation en 2011. Entre 2011 et 2013, la biodiversité stagne. Elle augmente de nouveau mais légèrement en 2014 (d'environ 0,02).

- Broyage de novembre :

Après l'année d'implantation, la biodiversité chute en 2010. Après cette baisse, la biodiversité augmente régulièrement entre 2011 et 2013. 2013 est l'année la plus diversifiée et est suivie d'une chute en 2014, année équivalente à 2009 en terme de diversité.

- Broyages de juillet-septembre :

La biodiversité en 2009 est la plus haute pour cette modalité. Elle chute en 2010 et augmente légèrement en 2011. En 2012, elle chute de nouveau puis un regain de biodiversité se fait en 2013. L'année 2014 est la plus basse de toute, en terme de biodiversité.

- Broyages de juillet-novembre :

JN suit le schéma général, soit une chute en 2010. Il y a une légère augmentation en 2011 suivit d'un pallier les deux années suivantes. Il y a une chute de la biodiversité en 2014.

- Comparatifs des broyages :

De manière générale, la modalité JS possède la biodiversité la plus basse. N et JN se comportent de la même manière. S est la seule à ne pas subir de baisse lors de l'année 2014.

---

## 4.3 Approche taxonomique

### 4.3.1 Mélange vert

La matrice scorée (Tableau 3, page W) confirme la présence d'espèces stables dans le temps (et les répétitions). Il y en aurait entre 12 et 14, dont une majorité provenant du mélange vert. En ce qui concerne les indices de Sorensen interannuels (Figure 21, page CC), aucune modalité se démarque des autres ( $S_{moyen} = 0,66 \pm 0,06$ ) ; les années sont similaires entre-elles. Pour les similitudes intermodalités (Figure 22, page CC), aucune tendance ne ressort ( $S_{moyen} = 0,75 \pm 0,07$ ) ; les modalités sont similaires entre elles. Mis à part JS se regroupant, aucune tendance précise ne peut être établie à partir de la CAH (Figure 23, page DD).

### 4.3.2 Mélange fleuri

La matrice scorée (Tableau 4, page Y) confirme la présence d'espèces dont stables dans le temps (et les répétitions). Il y en aurait entre 10 et 12, se répartissant entre le mélange fleuri, pour environ une moitié, et le mélange vert et les spontanées, pour l'autre moitié. En ce qui concerne les indices de Sorensen interannuels (Figure 25, page EE), les modalités sont similaires entre années ( $S_{moyen} = 0,65 \pm 0,16$ ), hors 2013-2014 où un décrochement a lieu. En 2013 - 2014, S est celle qui se maintient le mieux ( $S_{S\ 2013-2014} = 0,53$ ), les modalités possédant un broyage en novembre ont un indice similaire ( $S_{N\ 2013-2014} = 0,38$  et  $S_{JN\ 2013-2014} = 0,42$ ), la modalité ayant la plus grande modification spécifique est JS ( $S_{JS\ 2013-2014} = 0,2$ ). Pour les similitudes intermodalités (Figure 24, page EE), les modalités sont similaires entre-elles durant le temps ( $S_{moyen} = 0,75 \pm 0,15$ ), excepté 2014 où les similitudes avec JS s'estompent avec un indice avoisinant les 0,2. La CAH (Figure 26, page FF) donne une classification annuelle, mis à part 2011 où les doubles fauches se séparent des simples et en 2014, où JS se démarquant totalement des autres modalités.

## 4.4 Approche fonctionnelle

### 4.4.1 Groupes fonctionnels

Après l'ACM, l'HCPC donne 6 groupes fonctionnels distincts (Tableau 6, page GG) :

- Le groupe 1 (8 espèces) correspond à des espèces principalement de stratégie CR, donc des compétitrices rudérales, ce sont des hémicryptophytes et géophytes (6 des 8 espèces) de plus d'un mètre de hauteur.



- 
- Le groupe 2 (55 espèces) correspond dans l'ensemble, à des thérophytes et hémicryptophytes / thérophytes de moins d'un mètre et de stratégie R, S, SR, CR.
  - Le groupe 3 (29 espèces) correspond à des hémicryptophytes de moins d'un mètre, majoritairement de stratégie CR/CSR.
  - Le groupe 4 (4 espèces) correspond à des phanérophytes de stratégie SC.
  - Le groupe 5 (2 espèces) correspond à des chaméphytes.
  - Le groupe 6 (11 espèces) est le groupe où il n'y a pas assez d'information pour permettre de rentrer les espèces dans un des 5 groupes précédents.

#### 4.4.2 Effet des modalités de broyage sur les groupes

Les groupes 4 et 5 ne seront pas décrits. Ils comportent des arbustes ou arbres et donc sont éliminés systématiquement à chaque fauche (chaque année).

##### 4.4.2.1 Groupe 1

Le groupe 1 est favorisé par les broyages de novembre (JN compris) qui ressortent, mis à part JN pour le mélange vert (Figure 27, page HH). Ces modalités favorables sont présentes en 2009 et chutent rapidement pour ne réapparaître qu'en 2014 globalement. Les scores restent bas comparativement aux trois groupes majeures, ils se situent sous la barre des 100.

##### 4.4.2.2 Groupe 2

Les doubles fauches favorisent majoritairement les thérophytes (Figure 28, page HH). Ces modalités évoluent, globalement, en dents de scie dans le temps avec des années à forte présence et des années à quasi absence.

##### 4.4.2.3 Groupe 3

Les modalités de fauche favorisant le plus ce groupe sont celles comportant une modalité de novembre principalement et de septembre pour le mélange fleuri (Figure 29, page II). Les modalités de se regroupent décrivent une dynamique intermédiaire entre celle du groupe 1 et celle du groupe 2. Cela dit, une tendance à la baisse est à noter.

##### 4.4.2.4 Groupe 6

Seulement les modalités à double fauche du mélange fleuri possèdent un score suffisant en progressant jusqu'à 2013 au moins (Figure 30, page II). Pour les autres modalités du mélange fleuri un faible pic en 2013 peut être observé.

---

## 5 Discussions

### 5.1 Intérêt de l'étude

Plusieurs expérimentations portent sur la flore des bandes enherbées et fleuries qui les constituent (Annexe 10, page PP).

Une des premières originalités de l'essai en microparcelle est, simplement, qu'il se déroule en SPD<sup>18</sup>. Une seule expérimentation suit ce schéma expérimental, celle de De Cauwer (2005). L'expérience belge se déroule sur deux sites et non sur un seul et unique site.

Une autre spécificité de notre expérimentation est le suivi en plus de la présence / absence des espèces du recouvrement sur des quadrats fixes. Cette mesure est absente des autres expériences et pourtant apporte beaucoup d'informations sur la dynamique de cette flore et sur la dominance d'espèces ou pour le calcul d'un indice de biodiversité autre que la richesse spécifique.

Notre expérience se déroule actuellement sur le moyen terme (6 ans), soit la durée de viabilité préconisée en moyenne par les semenciers. Les autres se déroulent entre 2 et 3 ans (hors Bokenstand et al. (2004) et Smith et al. (2010)). Ceci nous permet de prendre du recul et de mieux appréhender la dynamique de la flore.

Nous nous sommes placés dans un cadre de grandes cultures. Les exploitants agricoles de grandes cultures ne possèdent que rarement les outils permettant la fauche et encore moins permettant l'exportation de ces résidus de fauche. L'usage d'un broyeur est bien plus réaliste, car en grandes cultures, il est fréquent de broyer les résidus de culture.

### 5.2 Méthodologie

Au niveau de l'expérimentation, les semences utilisées, provenant d'un semencier, ne permettent pas d'être en adéquation totale avec la notion de patrimonialité. Les origines n'étaient pas locales pour la plupart et pour certaines espèces, des variétés sélectionnées ont été prises, ce qui est défavorable aux pollinisateurs (Tschardtke, et al., 2011). Il aurait été intéressant de semer des espèces endémiques et non de provenance extérieure afin de potentiellement augmenter le service patrimonial de ces bandes, limiter le risque de pollution génétique. Il est à noter que les autres études citées plus haut contiennent peu d'information sur ce sujet.

Pour le traitement statistique de l'approche factorielle, nous aurions pu créer un modèle d'ANOVA plus complexe en intégrant plusieurs facteurs (qualitatifs), tels que les facteurs

---

<sup>18</sup> *Split plot design* (design en parcelles-divisées).

---

climatiques (température moyenne, pluviométrie moyenne, etc., réparties en classes). Un modèle de régression linéaire aurait pu être envisagé, avec l'intégration de facteurs quantitatifs, tels que le sol nu de l'année précédente ou en cours, ou encore la biodiversité (si le facteur expliqué est la richesse spécifique). Les problèmes rencontrés ont été, dans le premier cas, que certains facteurs étaient trop colinéaires et qu'ils n'apportaient pas plus d'informations supplémentaires que la méthode plus simple. Pour le second cas, pour obtenir un modèle de cette complexité devrait comprendre plus de données afin qu'il soit optimal et non biaisé par un manque d'informations. De plus, le modèle d'ANOVA mis en œuvre (SSPD ou SPD) permet d'augmenter la puissance ( $\beta$ ) des modalités de broyage et l'interaction de ceci avec les mélanges. Changer de modèle aurait donc été peu judicieux et aurait pu faire baisser la puissance ( $\beta$ ) du test utilisé pour le facteur le plus intéressant.

Pour l'approche taxonomique, la plus qualitative des approches, nous aurions pu tenter de faire de la phytosociologie en utilisant des bases de données (ex : baseflor (Julve, 2015)) et les données des recouvrements. Nous aurions pu mieux comprendre les interactions entre espèces différentes au sein de la population des bandes enherbées et fleuries.

Pour l'approche fonctionnelle, *a posteriori* se limiter à un choix restreint de traits (stratégie de Grime, type biologique de Raunkiaer, et la hauteur maximale) adapté à la problématique permet de créer des groupes de traits cohérent écologiquement parlant. Dans un deuxième temps, l'ajout d'autres variables, tels que la période de floraison ou la durée de vie du feuillage aurait pu être judicieux pour consolider les groupes ou les scinder par période de développement des espèces. Malheureusement, ces informations ne sont pas toujours disponibles ou complètes (ex. : 51 % de données pour la durée de vie du feuillage) (baseflor (Julve, 2015)).

### **5.3 Analyse des résultats ; quels facteurs influent sur la dynamique de la flore**

Dans cette discussion des résultats, nous analyserons le rôle des facteurs les plus influents sur la flore.

#### **5.3.1 Composition du mélange**

Le mélange utilisé influe sur le recouvrement des espèces, la richesse spécifique présente, et les groupes fonctionnels.

Une bande enherbée semée donne une richesse spécifique supérieure durant les 2 premières années suivant son implantation puis chute, alors qu'un couvert spontané donne une richesse spécifique stable dans le temps (De Cauwer, et al., 2005). Ceci n'est pas observable

---

avec le mélange fleuri. Les espèces du mélange fleuri décroissent continuellement au cours des années. Ceci est à nuancer avec l'apport des espèces spontanées. Ces espèces font que la richesse spécifique du mélange fleuri reste en général supérieure face à celle du mélange vert. Cependant, le nombre d'espèces stables sur 6 ans dans le mélange fleuri (10, principalement des dicotylédones dont majoritairement des *fabaceae* et *apiaceae*) est inférieur à celui du mélange vert (13, principalement des *poaceae* et quelques *fabaceae*) dans le mélange vert (Tableau 3, page W et Tableau 4, page Y). Il y a donc une fluctuation des taxons présents dans le mélange fleuri sur un *pool* de 10 espèces « pérennes ». Ces fluctuations ne se font pas ressentir sur l'indice de biodiversité, puisqu'il atteint un palier dès 2012. Selon Tilman (1996), une **augmentation du nombre d'espèces augmente la stabilité du système**, mais diminue la stabilité des populations et augmente les fluctuations d'effectifs. Le mélange fleuri serait alors globalement plus stable et potentiellement résilient.

Le mélange influe sur les groupes fonctionnels présents. Le mélange vert permet l'implantation d'un bon nombre d'espèces du groupe 3 (*Festuca pratensis* et *Festuca rubra*, par exemple). Le mélange fleuri, quand a lui, se scinde en deux. Les modalités à simple fauche favorisent le groupe 3 (*Achillea millefolium*) et les modalités à double fauches favoriseraient le groupe 2 (*Torilis arvensis* et *Bromus sterilis*, par exemple). Si une certaine linéarité est observable quant à la richesse spécifique ou l'indice de Simpson, l'approche fonctionnelle montre une non-linéarité intéressante et une dynamique autre par rapport à un schéma d'évolution « classiques », diminution, disparition des hémicryptophytes (majoritairement des dycotylédones) au profit des thérophytes (majoritairement des monocotylédones).

### 5.3.2 Modalités de broyage

Le broyage influe principalement sur le recouvrement des espèces et les groupes fonctionnels présents (ainsi que leurs dominances).

Si le **milieu est pas ou peu perturbé**, dans notre cas un seul broyage, il y a une **diminution du nombre d'annuelles** dans le temps (Critchley, et al., 2006). Nous pouvons supposer que peu de perturbations peuvent faire diminuer le recouvrement des annuelles jusqu'à leurs disparitions ou apparitions relictuelles (ex : *Malva sp.*). Nous observons ces tendances à la fois dans l'approche taxonomique et l'approche fonctionnelle.

A contrario, nous pouvons voir pour la **modalité JS** (pour le mélange fleuri) que le groupe des **thérophytes est de plus en plus important**. Les perturbations de JS favorisent ce groupe (le second) au détriment des autres. Ces observations vont à l'encontre de celles de

---

Marshall et Nowakowski (Marshall, et al., 1994), où les doubles fauches réduisaient le nombre d'annuelles. De plus, un broyage en juillet puis en septembre semblent nuire à l'indice de biodiversité en ne favorisant que les espèces pouvant soit clore un cycle (ex : *Bromus sterilis*), soit être rudérale (ex : *Convolvulus arvensis* et *Calystegia Sepium*). Les fauches d'été sont généralement défavorables à la flore par rapport à d'autres traitements (Feber, et al., 1996 et Smith, et al., 1999). Ceci peut augmenter les effets de notre double fauche, en y ajoutant la période de fauche. En effet, beaucoup de végétaux sont en croissance, floraisons ou germinations durant la période estivale et donc les faucher à ce moment réduit l'espérance de survie des espèces de certains d'entre eux.

Plus les doubles fauches sont rapprochés (JS par rapport à JN) plus cela semble nuire à la biodiversité ou la diversité de fonctions. Dans le temps, la biodiversité au sein des modalités JS ne cesse de diminuer alors que celle de JN semble augmenter après la phase d'implantation. A terme, le groupe 2 (en particulier *B. sterilis*) s'impose comme le dominant dans JS, tandis que dans JN, cela semble plus nuancé.

### 5.3.3 Autres pratiques

Ces autres « modalités » sont implicites à l'expérimentation et à son environnement. La **non-exportation des résidus**, l'utilisation d'un **outil agricole** pour l'expérimentation et pour l'environnement les **paramètres pédologiques**, les **populations végétales aux abords** du domaine INRA ou encore les **promeneurs-cueilleurs**.

Un régime sans exportation influe aussi sur les populations en place. L'**exportation** pouvant entraîner une **richesse spécifique supérieure** (De Cauwer, et al., 2005).

Une richesse spécifique supérieure aurait pu être obtenue dans l'essai, mais cette hypothèse est à contrebalancer avec l'apport en nutriments apportés aux microparcelles. Si nous supposons la double fauche comme une double non-exportation, elle ne semble pas avoir un double effet négatif sur la richesse spécifique présente (Figure 5, page H et Figure 9, page L).

Selon De Cauwer et al. (2005), l'**exportation** entrainerait une **richesse spécifique supérieure**. Malgré cela, les traitements sont basés sur une situation de grandes cultures avec un broyeur et non une faucheuse, donc l'exportation est impossible. De plus quel serait le devenir des résidus des bandes ? Ils sont nombreux. Ces résidus pourraient être utilisés en foin de moindre qualité nutritive mais de qualité supérieure pour la santé des animaux. Il pourrait aussi servir de complément de litière. La méthanisation pourrait transformer ces résidus en énergie et en amendement et / ou engrais.

---

Le type de machine utilisé peut très bien participer à la dissémination des espèces sur une microparcelle (voir entre les microparcelles). Malheureusement, cet impact est assez difficile à évaluer de façon précise.

#### 5.3.4 Climat

Le climat est l'un des facteurs les plus compliqués et complexes à approcher. La multitude de composantes du climat (rayonnement globale, pluviométrie, vitesse du vent, *e.g.*) est réduite à la pluviométrie, somme des températures (base 0 ou 6) et la température moyenne annuelle.

La pluviométrie a un impact non-négligeable sur la biodiversité et la richesse spécifique. La pluviométrie n'aurait que peu d'effet l'année en cours sur la richesse spécifique (Adler, et al., 2007), mais il y a une interaction entre l'année précédente et l'année en cours. Ces observations ont lieu aussi sur notre essai (Figure 13, page P). Une année sèche suivie d'une année humide donnera une richesse spécifique plus grande (ex : entre 2012 et 2013 plus de 5 espèces supplémentaires en moyenne dans le mélange fleuri). La pluviométrie influe sur d'autres paramètres, tels que la germination (induite ou empêchée), la présence d'espèces annuelles (condition sèche) et aurait un effet privatif sur des ressources (ex : la disponibilité en azote en cas de sécheresse) (Adler, et al., 2007).

La température intervient à différents niveaux. Elle intervient dans la croissance, la dormance, *etc.* De fortes amplitudes de température journalières permettent dans de nombreux cas de lever la dormance (Probert, 2000), et ceci pour des graines « dures » imperméables (*Gramineae*, *Leguminosae* et *Chenopodiaceae*, par exemple). Certaines espèces ne commencent leurs croissances qu'avec des températures minimales particulières (0°C, 6°C ou 10°C, par exemple).

#### 5.3.5 Sol

Le sol d'implantation est un facteur à ne pas négliger. La terre est de type limon loessique très fertile. Ceci a une incidence directe sur les espèces semées du mélange fleuri (Marshall, et al., 1994). Il est possible que la disparition de *Chrysanthemum segetum* (espèce acidophile) soit due au pH du sol (aux alentours de 8.3) (Pottier, 2011). *Calendula officinalis* possède aussi un profil acidophile, il est probable que sa disparition soit liée au pH du sol. Il est probable que des **espèces aient disparues**, car **inadaptées aux conditions édaphiques**.

---

### 5.3.6 Sol nu

Le sol nu est un **facteur de confusion**, donc ambigu à traiter. Il est à la fois une conséquence de la dynamique de la flore, mais aussi et à la fois un facteur influant la dynamique de la flore. Le sol nu est donc un facteur de confusion quant aux analyses. Par exemple, si au cours d'une année  $n$ , une espèce vient à décroître (en recouvrement et fréquence d'apparition), elle va laisser sa place à d'autres espèces et du sol nu. Lors de l'année  $n+1$ , ce sol nu influera sur les espèces restantes ou sur l'apparition d'autres espèces en laissant des espaces libres. Durant une même année ce sol nu joue les deux rôles à la fois.

### 5.3.7 Environnement des parcelles

Il est plus que possible que des espèces hors mélanges et présentes sur le domaine se soient implantées dans les microparcelles (*Lolium perenne*, par exemple, semées dans les allées de l'essai).

La faune est un autre **facteur de confusion**. La flore influant la faune et *vice versa*. 65,4 % des espèces végétales sont entomogames (purs ou associés à d'autres modes de reproduction), elles sont donc totalement ou en partie dépendantes des insectes pollinisateurs. En somme, l'entomofaune influe sur la pollinisation (donc indirectement sur le potentiel de production de graines), et les végétaux sur la diversité d'habitats et la disponibilité en ressource (nourriture). Mais nous pouvons nous demander si le fait de ne pas (ou peu) perturber une zone durant plusieurs années ne favoriseraient pas l'arrivée de micromammifères, notamment de rongeurs. Ces rongeurs creusent des terriers qui peuvent augmenter le sol nu. 29,9% des espèces végétales qui ont été ou sont sur les microparcelles sont épizoochores. Elles dépendent donc d'animaux pour leurs disséminations ; cela laisse à supposer que des espèces (ex. : *Bromus sterilis*) se sont introduites ou dispersées dans les microparcelles par ce moyen-là. Une expérimentation a été menée dans le but de savoir s'il peut y avoir une corrélation entre les micromammifères présents dans les microparcelles et la flore présente, dont les plantes invasives (Annexe 9, page JJ).

Les promeneurs-cueilleurs pourraient être un facteur anthropique. En effet, en se promenant avec leurs chiens, ils pourraient ramener des semences de végétaux qui ne sont pas de l'environnement direct des parcelles. De plus, leurs chiens sont souvent attirés par les rongeurs vivant dans l'essai et creusent des trous dans certaines microparcelles.

### 5.3.8 Évènements particuliers

Il est indéniable qu'il y ait eu des **évènements**, une accumulation d'évènements entraînant la disparition d'espèces, la dominance d'autres, etc. Ces aléas ne sont pas sans

---

conséquences sur la dynamique et doivent donc être explicités. Ils peuvent être de causes variées (**biotiques** ou **abiotiques**) et avoir des conséquences différentes.

Septembre 2010, il y eut des dégâts de sangliers (parcelles 4, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23). Ces dégâts eurent comme principale incidence l'augmentation du sol nu (Figure 7, page J et Figure 11, page N) l'année suivante. Puis, cela laisse à supposer que ce sol nu laisse sa place en 2012 à des adventices des cultures (*Chenopodium alba*, *Mercurialis annua*, *Amaranthus albus*, par exemple). Quoiqu'il en soit, ces dégâts ont dû avoir une influence sur les dynamiques futures.

Un des événements majeurs est la colonisation de *B. sterilis*. Nous supposons qu'elle est arrivée (2012) par zoochorie (épizoochorie ou dyszoochorie), en particulier par des micromammifères. Cette hypothèse vient de l'absence dans l'inventaire du stock semencier précédant l'essai (2007) et son absence à proximité immédiate du site de *B. sterilis* avant sa colonisation massive des essais. Cette colonisation aboutit à des recouvrements aux alentours de 60 % dans certaines modalités (particulièrement fleuri et avec doubles fauches). *B. sterilis* est de stratégie SR, il est logique de le retrouver dans les milieux fortement perturbés, puisqu'il est résistant à la perte de matière sèche (R).

D'un point de vue climatique, l'année 2014 fut chaude et de pluviométrie normale (hors juillet, avec 160 mm) et fut précédée par une année froide et sèche. Il est probable qu'une année froide et sèche ne soit pas favorable aux différentes phases permettant à certaines plantes de permettre la survie de leurs espèces (production de graines, production de réserves,...). Ce climat particulier couplé aux caractéristiques de *B. sterilis* a sûrement permis sa colonisation massive, principalement des modalités JS.



---

## 6 Conclusions et perspectives

### 6.1 Dynamique de la flore en bandes enherbées et fleuries

La **dynamique de la flore** de bande enherbées et fleuries est **multifactorielle**.

De nombreux **facteurs différents** interviennent dans la **dynamique de la flore** de bandes enherbées selon l'angle avec lequel nous observons la flore. Cette dynamique est non-linéaire, ce « chaos » est dû à la multitude de facteurs intervenant et interagissant (entre eux et avec la flore). De plus, ces facteurs (de réponses ou d'explications) peuvent interagir entre eux. Les **différentes approches** mises en place permettent de changer d'angle de vue (**diversité, taxonomique et fonctionnel**).

L'**approche factorielle** donne une **richesse spécifique supérieure** pour le **mélange fleuri**, globalement et une **diversité plus stable** dans le **mélange vert**. Le temps est l'un des facteurs les plus influant sur ces deux composantes.

L'**approche taxonomique** présente les deux mélanges comme assez similaires taxonomiquement dans le temps (hors 2014 pour le mélange fleuri). Il y a donc des **espèces constantes** maintenant la **stabilité spécifique** des bandes.

L'**approche fonctionnelle** apporte une **autre vision originale** de la dynamique. La **stabilité perçue** dans les autres approches est **caduque** ici. Deux groupes de traits fonctionnels dominant à tours de rôle les populations en place, globalement. Le premier, les hémicryptophytes, des pérennes (compétitrices ou tolérantes au stress) (groupe 3 majoritairement) de moins de 1 mètre, groupe 3) dominant principalement les fauches de novembre et les fauches simples. Le second, les thérophytes (2), les plantes annuelles plutôt à caractère rudéral dominant principalement dans les doubles fauches, car le milieu est perturbé et ne permet pas l'implantation des espèces plus pérennes.

Le choix du **mélange, facteur fixe**, influe aussi cette dynamique. Majoritairement des groupes 2 (thérophytes) et 3 (hémicryptophytes de moins de 1 mètre) pour le mélange vert et majoritairement du groupe 3 et 6 pour le mélange fleuri.

Le **climat, un facteur aléatoire**, a deux principaux facteurs influant sur la dynamique : la **pluviométrie** et la **température**. La pluviométrie de l'année n-1 influencerait la richesse spécifique l'année n. Elle a aussi un impact sur la disponibilité des ressources dans la phase aqueuse du sol. La température joue sur énormément de composants, de la levée de la dormance à la sénescence, en passant par la photosynthèse donc la croissance

Le **sol nu, facteur de confusion**, influe et est influencé par la dynamique de la flore. Il est donc, sûrement, l'un des plus difficiles à appréhender et à analyser.

---

La **faune** est un autre de ces **facteurs de confusion**, elle influe et est influée par les populations végétales présentes d'années en années.

## 6.2 Intérêts des bandes enherbées et fleuries

**Augmenter la biodiversité** d'un agro-écosystème permet de **diminuer la pression** des ravageurs (Altieri, 1998), donc *per se* potentiellement diminuer le rôle des produits phytopharmaceutiques dans la lutte contre les ravageurs. L'intégration d'une bande enherbée permettrait à **l'échelle parcellaire** de contrôler la pression des adventices et ravageurs par des **processus écologiques** plutôt que par l'utilisation d'intrants chimiques.

Une bande enherbée, et surtout une bande fleurie, favoriseraient dans son ensemble la faune et surtout l'entomofaune, notamment les **pollinisateurs** ou les **auxiliaires** de cultures mais aussi la **macrofaune du sol**.

A **l'échelle du paysage**, une bande enherbée peut fournir un **service patrimonial** et donc *per se* de **biologie de la conservation**, c'est-à-dire de conserver la biodiversité et les espèces endémiques. Par exemple, *Agrostemma githago* est dans la liste rouge (en danger) des espèces vasculaires en Alsace (Vangendt, et al., 2014). Sa présence dans le mélange fleuri permettrait de la réintroduire dans les écosystèmes et donc ainsi conserver son taxon, sa présence dans le paysage local et donc de conserver un patrimoine culturel et écologique.

Par des méthodes adaptées, des **espèces rares** pourraient être réintroduites dans les paysages ruraux. Mais il ne faut pas favoriser la biodiversité en soi, mais la « bonne » biodiversité (Gurr, et al., 2006). En somme, il faudrait augmenter la biodiversité à une échelle locale à partir d'elle-même ; importer des xénophytes est une cause de l'érosion de la biodiversité (génétique, spécifique). L'utilisation de coccinelles asiatiques dans le cadre de la lutte contre les pucerons fut une erreur, car cette espèce exogène nuit aux populations locales. Il en va de même pour les végétaux.

Toujours à **l'échelle du paysage** et même du territoire, l'introduction de bandes enherbées pourraient créer des **corridors écologiques** facilitant les déplacements de nombreuses espèces. Elles permettraient aussi d'augmenter **l'hétérogénéité des paysages** ruraux.

## 6.3 Perspectives

A court terme, il semble évident qu'il faut poursuivre la prise de données sur l'essai.

A moyen terme, il serait préférable de ne pas changer le système des microparcelles. Ainsi, l'équipe pourrait poursuivre son travail jusqu'en 2018, soit **10 ans de données** sur la dynamique des bandes enherbées en microparcelles. Cela dit, il faudra surveiller avec

---

vigilance la colonisation de *Bromus. sterilis*. Il semblerait intéressant de prendre d'autres données sur ce système, tel que la faune (entomofaune, micromammifères), des caractéristiques édaphiques (pH, N, C/N, MO), ou encore effectuer un nouvel inventaire du stock semencier.

A long terme, après avoir accumulé 10 ans de données sur les microparcelles, **d'autres orientations** seraient envisageables pour évaluer des **alternatives** et / ou proposer diverses **solutions** aux agriculteurs souhaitant vouloir conserver à long terme ces zones de refuges, corridors écologiques et ne pas avoir à détruire, même partiellement, les bandes pour en réimplanter une « neuve ». Ces alternatives pourraient être :

- Changer le système, en le griffant ou le retournant.
- Ressemer directement des mélanges sur les microparcelles.
- Effectuer un ou des semis différenciés.
- Appliquer, par exemple, trois de ces dernières modalités à l'essai. Il se transformerait alors en essai SSPD.

Un **modèle mécaniste** sur cette dynamique pourrait se construire avec toutes les données recueillies. L'intégration des **taxons**, des **fonctions écologiques associées** ainsi que l'intégration de la diversité se ferait en intégrant des **événements rares** ou exceptionnels et les **divers composants du système** (mélange, modalité de broyage, exportation, *etc.*). Ce modèle pourrait être utile pour comprendre les **interactions** entre les facteurs du système.

Concernant les travaux sur l'évaluation multicritère de l'équipe, un indicateur intégré à un indicateur composite concernant la biodiversité des bords de cultures (bandes enherbées, principalement) pourrait être développé (à partir du modèle). Cet **indicateur** pourrait à partir de données basiques (mélange de départ, régime de fauche, températures, pluviométries, *etc.*) évaluer la **biodiversité** aux abords des parcelles cultivées. L'expérimentation a servi déjà à valider un tel modèle opérationnel  $I_{\text{boflo}}$  et un de valeur pollinisatrice  $I_{\text{pol}}$  (Ricou, 2014), construits à partir de connaissances expertes. Ces deux modèles pouvant se compléter sur l'approche de la biodiversité des bords de champs. Cet indicateur pourrait s'agréger avec les autres indicateurs concernant la biodiversité (pollinisation et carabes) dans un **indicateur biodiversité**, plus globale, intégrable à **INDIGO©**.

---

## 6.4 Personnelle

Je pense que ce stage est une réussite, tant que sur un plan personnel que professionnel. J'ai pu me développer intellectuellement, en pratiquant de nombreuses analyses, parfois compliquées, et de relier les chiffres avec l'écologie. Mon travail a été reconnu par les membres de l'équipe (colmarienne et nancéenne), ce qui fut une réussite personnelle mais aussi ce qui a permis de me faire connaître dans le milieu de la recherche.

De plus, je suis ravi que l'équipe m'ait fait confiance et laissé mener, avec le concours de Christophe Schneider, une expérimentation concernant les micromammifères, ainsi que donner de leurs temps pour cette expérience qui fut pleine d'enseignement.

Durant mon stage j'ai rencontré diverses difficultés. Une des premières et principale fut d'intégrer les notions (notamment le vocabulaire) de botanique et d'écologie à mon langage courant, tels que les types biologiques de Raunkiaer, ou de la morphologie végétale. Une autre difficulté fut la construction des différentes approches, c.-à-d. de poser les bonnes questions et de choisir convenablement des tests, l'enchaînement logique de ceci pour répondre aux questions. Ceux deux éléments furent cependant centraux dans cette étude.

Ces difficultés m'ont permis d'acquérir de nouveaux savoirs, concernant principalement l'écologie, la botanique et les statistiques. Ces contraintes et difficultés me permirent de développer mes compétences, comme la connaissance et l'utilisation de langage informatique S pour le logiciel R, ou encore celles d'analyses et croisement de données.

Toutes ces expériences, rencontres, recherches, ces moments passés à analyser des données, à chercher des causes, trouver des pistes de recherche, mettre au point une expérience, etc. m'ont permis de confirmer mon choix de vouloir entrer dans la recherche. L'agroécologie est un domaine qui me plaît énormément et qui est de plus très vaste et exploratoire, dans le sens où il fait interagir deux disciplines si proches et si éloignées à la fois, l'agronomie et l'écologie.

## Bibliographie

**Adler Peter B. et Levine Jonathan M.** Contrasting relationships between precipitation and species richness in space and time [Revue] // *Oikos*, 116, p221 - 232, 2007.

**Altieri Miguel** Agroecologica [Livre]. - UFRGS, 1998.

**Asteraki J. B. [et al.]** Factors influencing the plant and invertebrate diversity of arable field margins [Revue] // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 133, p1-13. - 2004.

**Benton T. G., Vickery J. A. et Wilson J. D.** Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? [Revue] // *Trend in Ecology and Evolution*, 18, p182–188, 2003.

**Bokenstrand A., Lagerlöf J. et Torstensson P. R.** Establishment of vegetation in broadened field boundaries in agricultural landscapes [Revue] // *Agriculture, Ecosystems and environment*, 101, p21-29, 2004.

**Burel F. et Baudry J.** *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications* [Livre]. - Editions Tec et Doc, 1999.

**Burylo M.** Relations entre les traits fonctionnels des espèces végétales et leurs fonctions de protection contre l'érosion dans les milieux marneux restaurés de montagne [Livre]. - Université de Grenoble, 2010.

**Colignon P. [et al.]** Aménagement de la composition floristique des [Revue] // *Parasitica*, 60, p3-18, 2004.

**Colignon P. [et al.]** Impact of agri-environmental grassy mixtures improvement on beneficial insect populations [Livre]. - Med. Fac. Landbouw. Univ. Gent., 2004.

**Cordeau S., Dessaint F. et Chauvel B.** Les bandes enherbées : un milieu riche quoi que l'on y fasse ! 5ème Colloque d'Ecologie Végétale. - 2009.

**Cordeau S., Reboud X. et Chauvel B.** Farmers' fears and agro-economic evaluation of sown grass strips in France [Revue]. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, p463-473, 2011.

**Critchley C. N. R. [et al.]** Vegetation development of sown grass margins in arable fields under a countrywide agri-environment scheme [Revue]. *Biological Conservation*, 132, p1-11, 2006.

**De Cauwer B. [et al.]** Evolution of the vegetation of mown field margins over their first 3 years [Revue] // *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 109, p87-96, 2005.

**De Cauwer B. [et al.]** Management of newly established field margins on nutrient-rich soil to reduce weed spread and seed rain into adjacent crops [Revue]. *Weed Research*, 48, p102-112, 2008.

**de Mendiburu Felipe** *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research.* - 2014.

**Dray S et Dufour A. B.** The ade4 package: implementing the duality diagram for ecologists [Revue] // *Journal of Statistical Software.* - 2007.

**Feber R. E., Smith H. et W. MacDonald D.** The Effects on Butterfly Abundance of the Management of Uncropped Edges of Arable Fields [Revue]. *Journal of Applied Ecology*, , p1191-1205, 1996.

**Gadoum S., Terzo M. et Rasmont P.** Jachères apicoles et jachères fleuries : la biodiversité au menu de quelles abeilles? [Revue]. *Courrier de l'environnement de l'INRA*, 2007.

- 
- Grassein F.** Mécanismes de variation des traits fonctionnels dans les prairies des Alpes [Livre]. Ecole doctorale chimie et science du vivant Grenoble, 2009.
- Gurr G. M., Wratten S. D. et Altieri M. A.** Ecological Engineering for Pest Management [Revue]. Plant Protection Quarterly, 21, p4, 2006.
- Hervé Maxime** RVAideMemoire: Diverse Basic Statistical and Graphical Functions. - 2015.
- Hooper D. U. [et al.]** Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge [Revue]. Ecological Monographs, 75, p3-35, 2005.
- Husson François [et al.]** FactoMineR: Multivariate Exploratory Data Analysis and Data Mining. - 2015.
- Julve Ph.** Baseflor. Index botanique, écologique et chorologique de la flore de France [En ligne]. - 2015. - 16 février 2015. - mars 2015. - <http://perso.wanadoo.fr/philippe.julve/catminat.htm>.
- Le Roux Xavier [et al.]** Agriculture et biodiversité [Rapport]. INRA, 2008.
- Liira J. [et al.]** Plant functional group composition and large-scale species richness in European agricultural [Revue]. Journal of Vegetation Science, 19, p3-14, 2008.
- Magurran A. E.** Measuring Biological Diversity [Livre]. Wiley-Blackwell, 2004.
- Marshall E. J. P. et Nowakowski N.** The effects of fluazifop-P-butyl and cutting treatments on the establishment of sown field margin strip [Livre]. The British Crop Protection Council, 1994.
- Olsen D et Wäckers FL** Management of field margins to maximize multiple ecological services [Revue]. Journal of Applied Ecology, 44, p13-21, 2007.
- Pottier P.A.** Caractérisation de l'évolution de bordures semi-naturelles implantées en parcelles agricoles [Rapport]. Rapport de stage, 2011.
- Probert R. J.** The role of temperature in the regulation of seed dormancy and germination [Livre]. - Michael Fenner, 2000.
- R Core Team** A language and environment for statistical computing. - Vienna : R Foundation for Statistical Computing, 2014.
- Ricou Charles** Conception d'un indicateur prédictif évaluant les effets des pratiques agricoles sur la diversité floristique et ses services en grandes cultures à l'échelle de la bordure de champ [Rapport]. Thèse, 2014.
- Smith H. [et al.]** Short-term successional change does not predict long-term conservation value of managed arable field margins [Revue]. Biological Conservation, 143, p 813-822, 2010.
- Smith H., Firbank L. G. et Macdonald D. W.** Uncropped edges of arable fields managed for biodiversity do not increase weed occurrence in adjacent crops [Revue]. Biological Conservation, 89, p 107-111, 1999.
- Smith J. [et al.]** Can arable field margins be managed to enhance their biodiversity, conservation and functional value for soil macrofauna? [Revue]. Journal of Applied Ecology, 45, p 269-278, 2008.
- Tilman D.** Biodiversity: population versus ecosystem stability [Revue]. Ecology, 77, p 350-363, 1996.
-

---

**Tscharntke T. [et al.]** Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management [Revue]. *Ecology Letters*, 8, p 857-874, 2011.

**Tscharntke T., Batary P. et Dormann C.F.** Set-aside management: How do succession, sowing patterns and landscape context affect biodiversity? *Agric. Ecosyst. Environ.*, 143, p 37-44, 2011.

**Vanbergen A. J. [et al.]** Effect of land-use heterogeneity on carabid communities at the landscape scale [Revue]. *Ecography*, 28, p 3-16, 2005.

**Vangendt J. [et al.]** La Liste rouge de la Flore vasculaire menacée en Alsace. - [s.l.] : CBA, SBA, ODONAT, 2014.

**Violle C. [et al.]** Let the concept of trait be functional! [Revue]. *Oikos*, 116, p882-892, 2007.

**Wassmuth B. E. [et al.]** Spatial aggregation facilitates coexistence and diversity of wild plant species in field margins [Revue]. - [s.l.] : *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 11, p 127-135, 2007.

## Annexes

### Annexe 1 Espèces présentes sur l'essai en microparcelles entre 2009 et 2014

**Tableau 1 Espèces présentes sur l'essai en microparcelles entre 2009 et 2014**

(vert : espèces du mélange vert, orange : espèces du mélange fleuri, bleu : espèces communes aux deux mélanges).

Nom scientifique	Abréviation	Nom commun
<i>Acer campestre</i> L. subsp. <i>campestre</i>	A. <i>campestre</i>	Erable champêtre
<i>Acer negundo</i> L. subsp. <i>negundo</i>	A. <i>negundo</i>	Erable du Manitoba
<i>Achillea millefolium</i> L. subsp. <i>millefolium</i>	A. <i>millefolium</i>	Achillée millefeuille
<i>Agrostemma githago</i> L. subsp. <i>githago</i>	A. <i>githago</i>	Nielle des blés
<i>Amaranthus albus</i> L.	A. <i>albus</i>	Amarante blanche
<i>Amaranthus hybridus</i> L. subsp. <i>hybridus</i> var. <i>hybridus</i>	A. <i>hybridus</i>	Amaranthe hybride
<i>Anagallis arvensis</i> L. subsp. <i>arvensis</i>	A. <i>arvensis</i>	Mouron rouge
<i>Anthemis arvensis</i> L. subsp. <i>arvensis</i>	An. <i>arvensis</i>	Camomille
<i>Aquilegia vulgaris</i> L. subsp. <i>vulgaris</i>	A. <i>vulgaris</i>	Ancolie vulgaire
<i>Arctium minus</i> (Hill) Bernh. subsp. <i>minus</i>	A. <i>minus</i>	Bardane à petits capitules
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.Beauv. ex J.Presl & C.Presl subsp. <i>elatius</i>	A. <i>elatius</i>	Fromental
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	Ar. <i>Vulgaris</i>	Armoise commune
<i>Atriplex patula</i> L. subsp. <i>patula</i>	A. <i>patula</i>	Arroche étalée
<i>Bellis perennis</i> L. subsp. <i>perennis</i>	B. <i>perennis</i>	Pâquerette
<i>Brassica napus</i> L. subsp. <i>napus</i>	B. <i>napus</i>	Colza
<i>Bromus hordeaceus</i> L. subsp. <i>hordeaceus</i> écop. annuel	B. <i>hordeaceus</i>	Brome mou
<i>Bromus inermis</i> Leyss. subsp. <i>inermis</i>	B. <i>inermis</i>	Brome inerme
<i>Bromus sterilis</i> L.	B. <i>sterilis</i>	Brome stérile
<i>Calendula officinalis</i> L.	C. <i>officinalis</i>	Souci des champs
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R.Br. subsp. <i>sepium</i>	C. <i>sepium</i>	Liseron des haies
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medik. subsp. <i>bursa-pastoris</i>	C. <i>bursa-pastoris</i>	Capselle bourse-à-pasteur
<i>Carduus crispus</i> L. subsp. <i>crispus</i>	C. <i>crispus</i>	Chardon crépu
<i>Carduus nutans</i> L. subsp. <i>nutans</i>	C. <i>nutans</i>	Chardon 2
<i>Carpinus betulus</i> L.	C. <i>betulus</i>	Charme
<i>Centaurea cyanus</i> L.	C. <i>cyanus</i>	Centaurée bleuet
<i>Centaurea nigra</i> L. subsp. <i>nigra</i> (L.) Bonnier & Layens var. <i>nigra</i>	C. <i>nigra</i>	Centaurée noire
<i>Cerastium arvense</i> L. subsp. <i>arvense</i>	C. <i>arvense</i>	Céraiste raide
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	C. <i>glomeratum</i>	Céaiste aggloméré
<i>Chenopodium album</i> L. subsp. <i>album</i>	C. <i>album</i>	Chénopode blanc
<i>Chenopodium hybridum</i> L.	C. <i>hybridum</i>	Chenopode hybride
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop. var. <i>vestitum</i> Wimm. & Grab.	Ci. <i>arvense</i>	Cirse des champs
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten. subsp. <i>vulgare</i>	C. <i>vulgare</i>	Cirse commun
<i>Convolvulus arvensis</i> L. subsp. <i>arvensis</i>	C. <i>arvensis</i>	Liseron des champs
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist	C. <i>canadensis</i>	Erigéron crépu
<i>Cornus sanguinea</i> L. subsp. <i>sanguinea</i>	C. <i>sanguinea</i>	Cornouiller sanguin
<i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr. écop. annuel	C. <i>capillaris</i>	Crépide capillaire
<i>Cynosurus cristatus</i> L.	C. <i>crystatus</i>	Crételle
<i>Dactylis glomerata</i> L. subsp. <i>glomerata</i>	D. <i>glomerata</i>	Dactyle aggloméré
<i>Daucus carota</i> L. subsp. <i>carota</i>	D. <i>carota</i>	Carotte sauvage
<i>Echium vulgare</i> L. subsp. <i>vulgare</i>	E. <i>vulgare</i>	Vipérine commune
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Desv. ex Nevski subsp. <i>repens</i>	E. <i>repens</i>	Chiendent commun
<i>Erigeron annuus</i> (L.) Desf. subsp. <i>annuus</i>	A. <i>annuus</i>	Vergerette annuelle
<i>Fallopia convolvulus</i> (L.) Á.Löve var. <i>convolvulus</i>	F. <i>convolvulus</i>	Renouée faux-liseron
<i>Festuca pratensis</i> Huds. subsp. <i>pratensis</i>	F. <i>pratensis</i>	Fétuque des prés
<i>Festuca rubra</i> L. subsp. <i>rubra</i>	F. <i>rubra</i>	Fétuque rouge
<i>Fumaria officinalis</i> L. subsp. <i>officinalis</i> var. <i>officinalis</i>	F. <i>officinalis</i>	Fumeterre officinale
<i>Galium aparine</i> L. subsp. <i>aparine</i>	G. <i>aparine</i>	Gaillet gratteron
<i>Galium mollugo</i> L. subsp. <i>mollugo</i>	G. <i>mollugo</i>	Gaillet caille-lait
<i>Geranium robertianum</i> L. subsp. <i>robertianum</i> écop. annuel	G. <i>robertianum</i>	Géranium herbe à Robert
<i>Geranium robertianum</i> L. subsp. <i>robertianum</i> écop. vivace	G. <i>robertianum</i>	Géranium herbe à Robert
<i>Geum urbanum</i> L.	G. <i>urbanum</i>	Benoîte commune
<i>Glebionis segetum</i> (L.) Fourr.	G. <i>segetum</i>	Marguerite dorée
<i>Holcus mollis</i> L. subsp. <i>mollis</i>	H. <i>mollis</i>	Houlque molle
<i>Hordeum murinum</i> L. subsp. <i>murinum</i>	H. <i>murinum</i>	Orge des rats
<i>Hordeum vulgare</i> L. subsp. <i>vulgare</i>	H. <i>vulgare</i>	Orge commune
<i>Juglans regia</i> L.	J. <i>regia</i>	Noyer commun
<i>Lactuca serriola</i> L. fa. <i>serriola</i>	L. <i>serriola</i>	Laitue sauvage
<i>Lamium album</i> L.	L. <i>album</i>	Lamier blanc
<i>Lamium purpureum</i> L.	L. <i>purpureum</i>	Lamier pourpre
<i>Leontodon pyrenaicus</i> Gouan subsp. <i>pyrenaicus</i>	L. <i>pyrenaicus</i>	Liondent des Pyrénées
<i>Leucanthemum vulgare</i> Lam. subsp. <i>vulgare</i> var. <i>vulgare</i>	L. <i>vulgare</i>	Grande marguerite
<i>Linaria vulgaris</i> Mill. subsp. <i>vulgaris</i>	Li. <i>vulgare</i>	Linaires commune
<i>Lolium perenne</i> L.	L. <i>perenne</i>	Ray-grass anglais
<i>Lotus corniculatus</i> L. subsp. <i>corniculatus</i>	L. <i>corniculatus</i>	Lotier corniculé



Malva neglecta Wallr.	M. neglecta	Mauve commune
Malva sylvestris L. subsp. sylvestris	M. sylvestris	Mauve des bois
Matricaria maritima L. subsp. maritima	M. maritima	Matricaire
Medicago lupulina L. subsp. lupulina var. lupulina	M. lupulina	Luzerne lupuline
Medicago sativa L. subsp. sativa	M. sativa	Luzerne cultivé
Mercurialis annua L. subsp. annua	M. annua	Mercuriale annuelle
Onobrychis viciifolia Scop.	O. viciifolia	Sainfoin
Papaver rhoeas L. subsp. rhoeas var. rhoeas	P. rhoeas	Coquelicot
Phacelia tanacetifolia Benth.	P. tanacetifolia	Phacélie à feuille de tanaïs
Plantago lanceolata L. subsp. lanceolata var. lanceolata	P. lanceolata	Plantain lancéolé
Plantago major L. subsp. intermedia (Gilib.) Lange	P. major	Plantain intermédiaire
Plantago media L. subsp. media	P. media	Plantain moyen
Poa annua L. subsp. annua var. annua	P. annua	Pâturin annuel
Poa pratensis L. subsp. pratensis	P. pratensis	Pâturin des prés
Polygonum aviculare L. subsp. aviculare	P. aviculare	Renouée des oiseaux
Polygonum persicaria L.	P. persicaria	Renouée persicaire
Prunus avium (L.) L. var. avium	P. avium	Merisier
Prunus x fruticans Weihe [domestica subsp. insititia ? x spinosa ?]	P. fruticans	Silène enflé
Ranunculus acris L. subsp. acris	R. acris	Renoncule âcre
Reseda lutea L. subsp. lutea var. lutea	R. lutea	Réséda jaune
Rumex crispus L. subsp. crispus	R. crispus	Oseille crêpue
Sanguisorba officinalis L.	S. officinalis	Sanguisorbe officinale
Senecio vulgaris L. subsp. vulgaris	S. vulgaris	Séneçon commun
Setaria pumila (Poir.) Roem. & Schult.	S. pumila	Sétaire glauque
Silene latifolia Poir. subsp. latifolia	S. latifolia	Silène enflé
Silene vulgaris (Moench) Garcke subsp. vulgaris	Si. vulgaris	Moutarde blanche
Sinapis alba L. subsp. alba	S. alba	Moutarde blanche
Sonchus asper (L.) Hill subsp. asper	S. asper	Laiteron épineux
Sonchus oleraceus L.	S. oleraceus	Laiteron maraîcher
Stellaria media (L.) Vill. subsp. media	S. media	Mouron des oiseaux
Torilis arvensis (Huds.) Link subsp. arvensis	T. arvensis	Torilis des champs
Tragopogon pratensis L. subsp. pratensis	T. pratensis	Salsifis des prés
Trifolium incarnatum L. subsp. incarnatum	T. incarnatum	Trèfle incarnat
Trifolium pratense L. subsp. pratense var. pratense	T. pratense	Trèfle des prés
Trifolium repens L. subsp. repens var. repens	T. repens	Trèfle rampant
Triticum aestivum L.	T. aestivum	Blé tendre
Urtica dioica L. subsp. dioica	U. dioica	Grande ortie
Verbascum thapsus L. subsp. montanum (Schrad.) Bonnier & Layens	V. thapsus	Bouillon blanc
Veronica arvensis L.	V. arvensis	Véronique des champs
Veronica hederifolia L. subsp. hederifolia	V. hederifolia	Véronique à feuilles de lierre
Vicia cracca L. subsp. cracca	V. cracca	Vesce à épis
Vicia hirsuta (L.) Gray	V. hirsuta	Vesce hérissée
Viola arvensis Murray subsp. arvensis	Vi. arvensis	Pensée des champs

## Annexe 2 Matériels utilisés pour l'expérimentation microparcelles

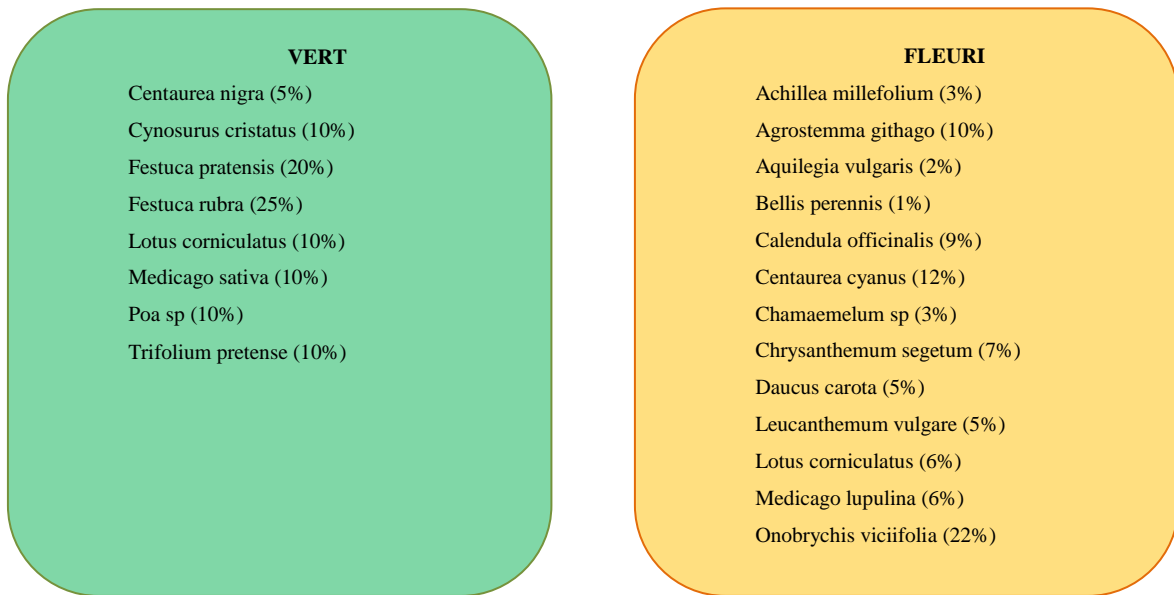


Figure 1 Mélanges semés dans les microparcelles

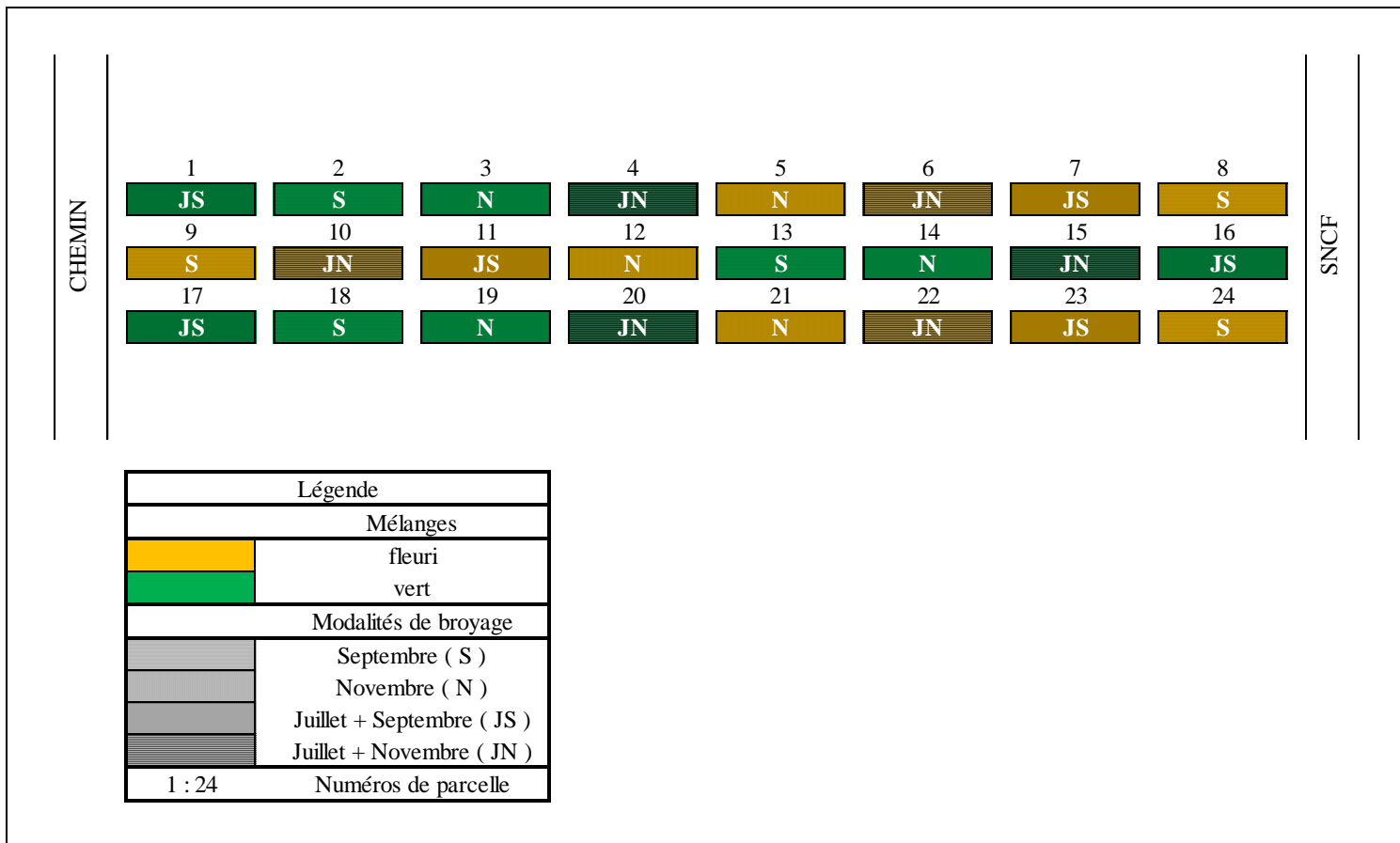


Figure 2 Plan de l'expérimentation en microparcelles

---

### Annexe 3 Equations des indices utilisés

- **Équation 1 Indice de similitude de Sorensen**

$$S = \frac{2a}{2a+b+c},$$

Où a correspond aux espèces communes aux deux modalités, b et c celles présentes respectivement dans la première et dans la seconde modalité.

- **Équation 2 Indice de diversité de Simpson**

$$D = \sum p_i^2$$

Où  $p_i$  correspond au recouvrement de l'espèce considérée ( $0 \leq p_i \leq 1$ ) effectué lors des relevés.

- **Équation 3 Indice réciproque de Simpson**

$$Z = \frac{1}{D}.$$

- **Équation 4 Indice d'équitabilité (de Simpson)**

$$E = \frac{Z}{SR}$$

Où SR correspond à la richesse spécifique.

- **Équation 5 Distance écologique**

$$De = \sqrt{1 - S}$$

- **Équation 6 Score "taxonomique"**

$$Score_{esp} = P_{temps} \times P_{Répétitions}^2$$

Où,  $P_{temps}$  correspond à la présence dans le temps (ou la saisonnalité) allant de 0 à 4 (présence dans les relevés de P / A) et  $P_{Répétitions}$  correspond à la présence dans les répétitions allant de 0 à 3. Ce dernier est élevé au carré afin d'éviter les doublons et permet de prendre plus en compte l'apparition de l'espèce dans les répétitions.

- **Équation 7 Score des groupes fonctionnels**

$$Score_x = \frac{1}{n} \sum p_x F_x$$

Où n correspond aux nombres de relevés,  $p_x$  au recouvrement de l'espèce x en pourcent et F, à la fréquence de l'espèce x (par rapport aux espèces présentes) en pourcent.

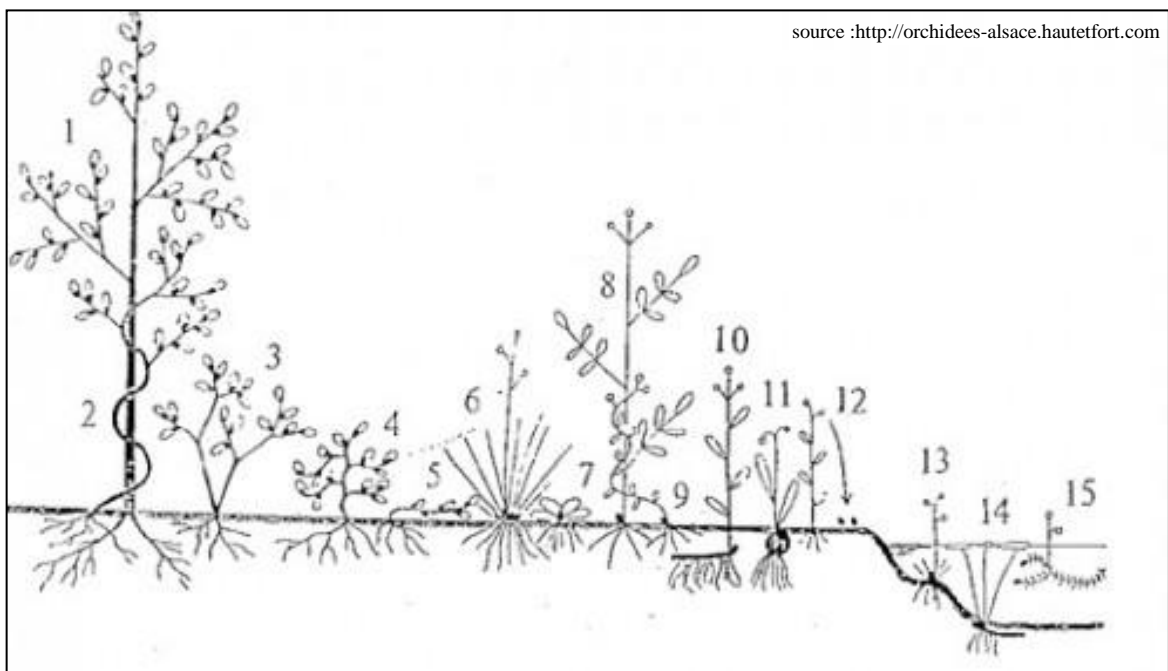
## Annexe 4 Choix des traits fonctionnels

Un trait fonctionnel est une caractéristique morphologique, physiologique ou phénologique d'un organisme qui affecte sa performance individuelle (Viole et al., 2007). Les traits fonctionnels peuvent être scindés en deux catégories : ceux de réponses et ceux d'effets. Un trait de réponse est lié à la réponse d'un individu (ou groupe d'individus) à son environnement (biotique ou abiotique) et un trait de réponse affecte son environnement. Ces deux catégories ne sont pas fixes totalement.

- Type biologique de Raunkiaer

Cette classification, issue de Raunkiaer (1917), organise les végétaux supérieures selon la position de leurs organes de survie (bourgeons, rhizome, graines, *e.g.*) (Figure 3 Type biologique de Raunkiaer).

Dans notre cas, ce trait fonctionnel est utilisé afin de voir, si la position de l'organe de survie influe sur la survie des individus.



**Figure 3 Type biologique de Raunkiaer**

( 1-2-3/Phanérophytes, 4-5/ Chaméphytes, 6-7-8-9/ Hémicryptophytes, 10-11/ Géophytes, 12- Thérophyte, 13-14-15/ Hydrophytes )

- Stratégie de Grime

Cette classification, issue de Grime (1974), organise les végétaux supérieures selon 3

critères (Figure 4 Triangle des stratégies de Grime) :

- Compétition (C):

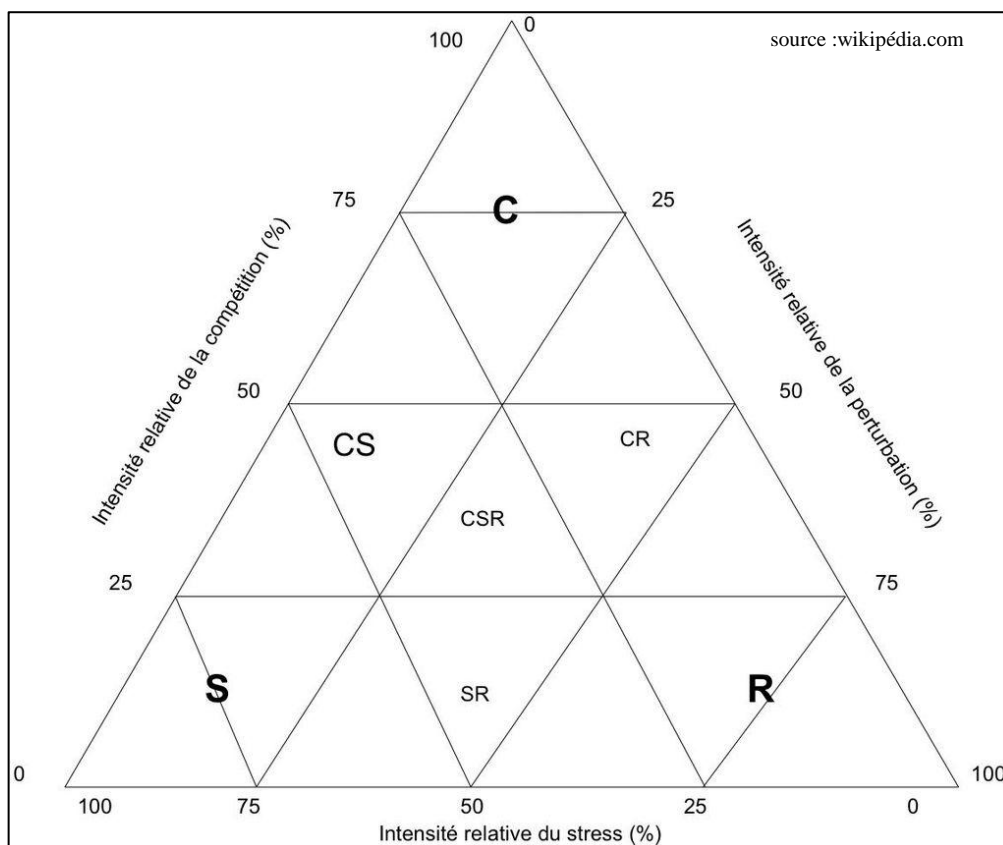
Selon Grime, la compétition est l'aptitude d'une plante à être compétitrice, le plus souvent quant à une ressource disponible (N, P, lumière, *e.g.*).

- Rudéralité (R):

Selon Grime, la rudéralité d'une plante est l'aptitude d'une plante à résister à la perturbation, soit une perte en biomasse.

- Tolérance au stress (S):

Selon Grime, la tolérance au stress est l'aptitude d'une plante à tolérer le manque d'une ressource (N, P, lumière, *e.g.*).



**Figure 4 Triangle des stratégies de Grime**

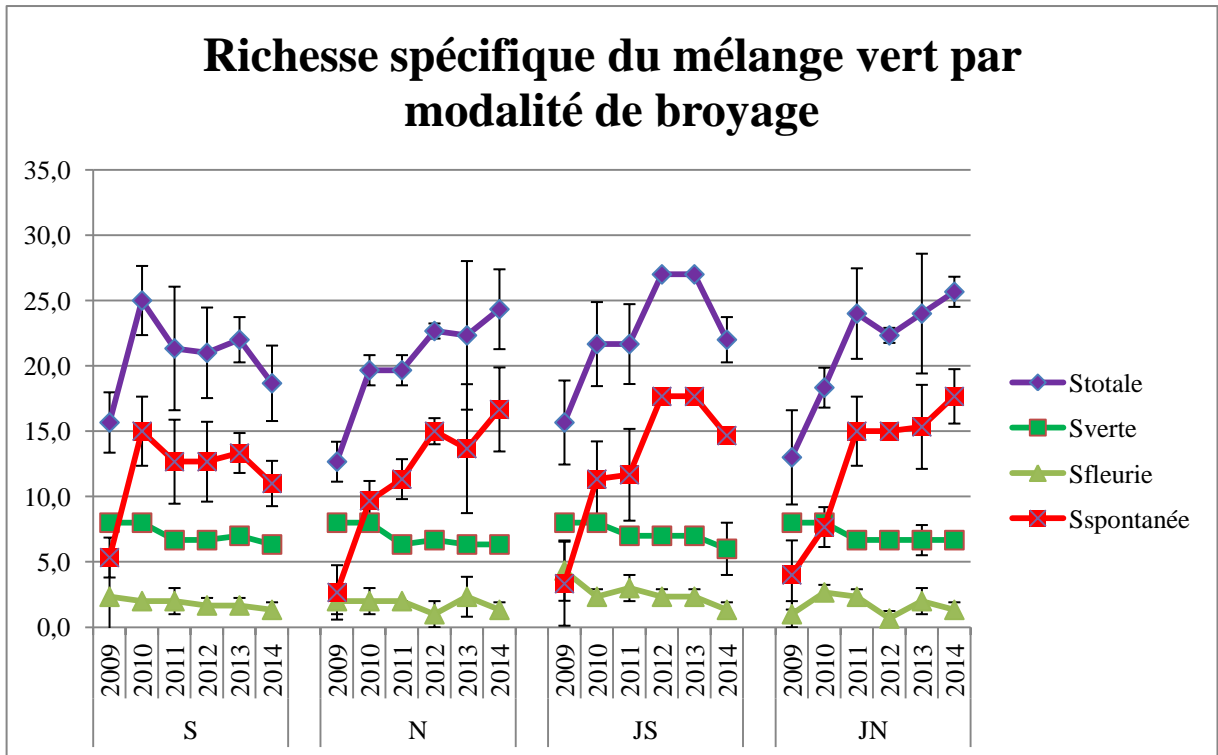
Intégrer le triangle de Grime en tant que trait fonctionnel permet d'aborder le système sous un angle différent. Est-ce que des plantes plutôt rudérales s'installeront dans les doubles fauches ? Sachant qu'il n'y pas d'exportation, y aurait-il plus de plantes compétitrices ou tolérantes au stress ?

- 
- Hauteur répartie en classe

L'hauteur maximale de chaque espèce est prise. Elle est répartie en 4 classes distinctes :

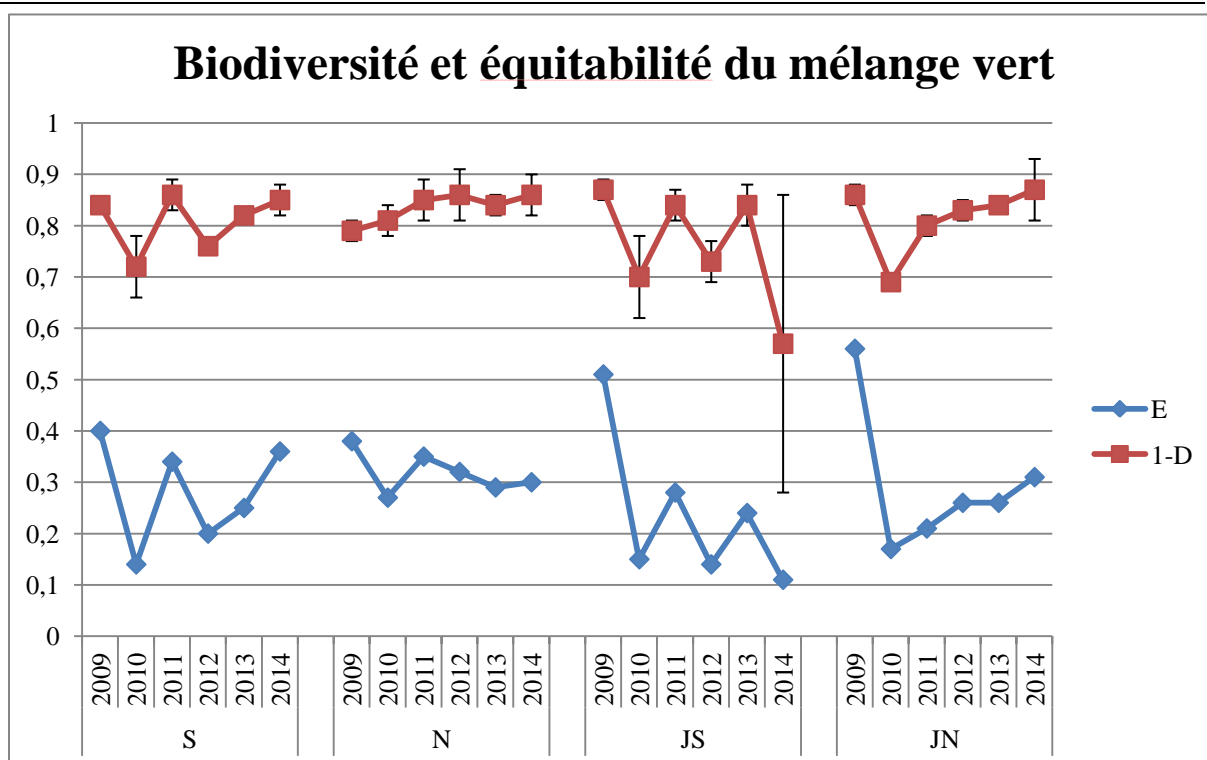
- Inférieure à 0.3m
- Inférieure à 0.5m
- Inférieure à 1m
- Supérieure à 1m

La hauteur est choisie comme trait « fonctionnel » car nous sommes dans le cas de modalités de gestion, *per se* de fauche. S'il y a fauche, il y a perte



**Figure 5 Richesse spécifique du mélange vert par modalité de broyage**

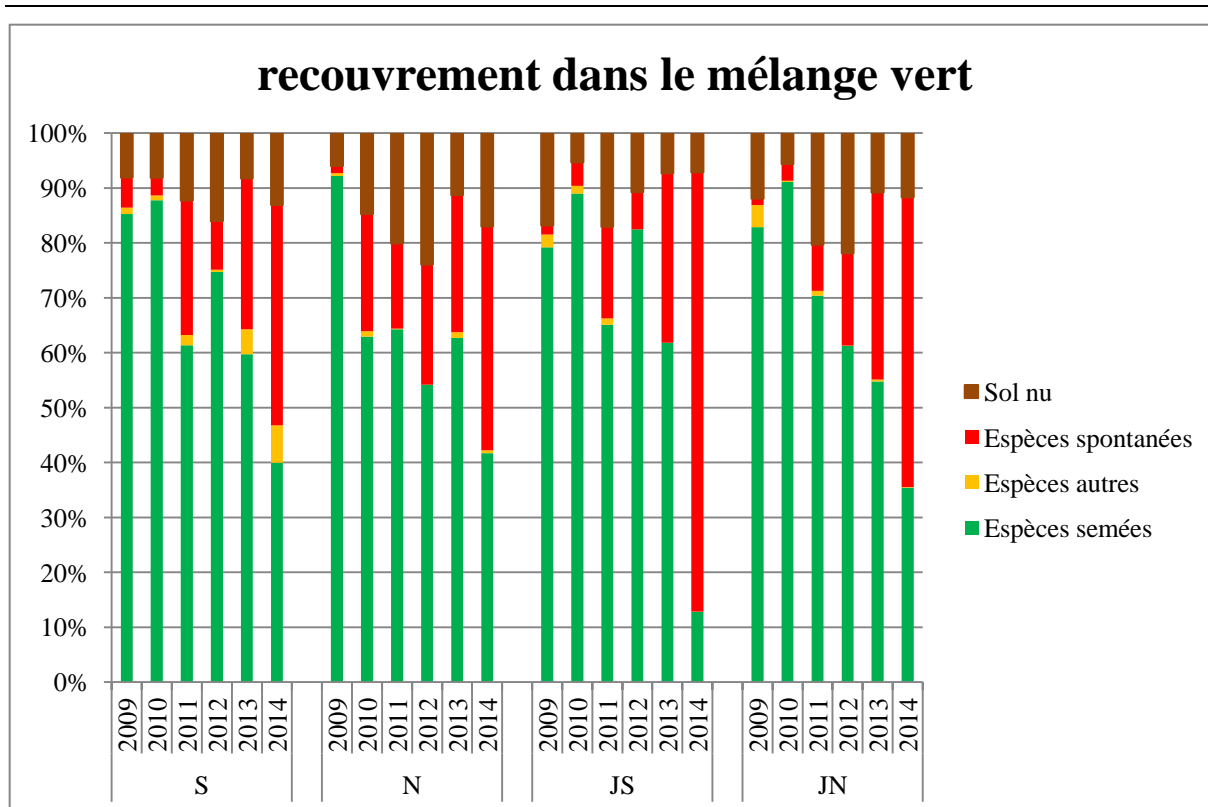
Ce qui est remarquable, premièrement, est que les espèces semées se maintiennent dans le temps et que quelques espèces du mélange fleuri se sont implantées. La modalité S se démarque des autres par rapport à la dynamique de sa richesse spécifique totale ; à partir de 2010 elle ne fait que globalement décroître. Une chute importante est à noter en 2014 pour S, de même pour la modalité JS.



**Figure 6 Biodiversité et équitabilité du mélange vert**

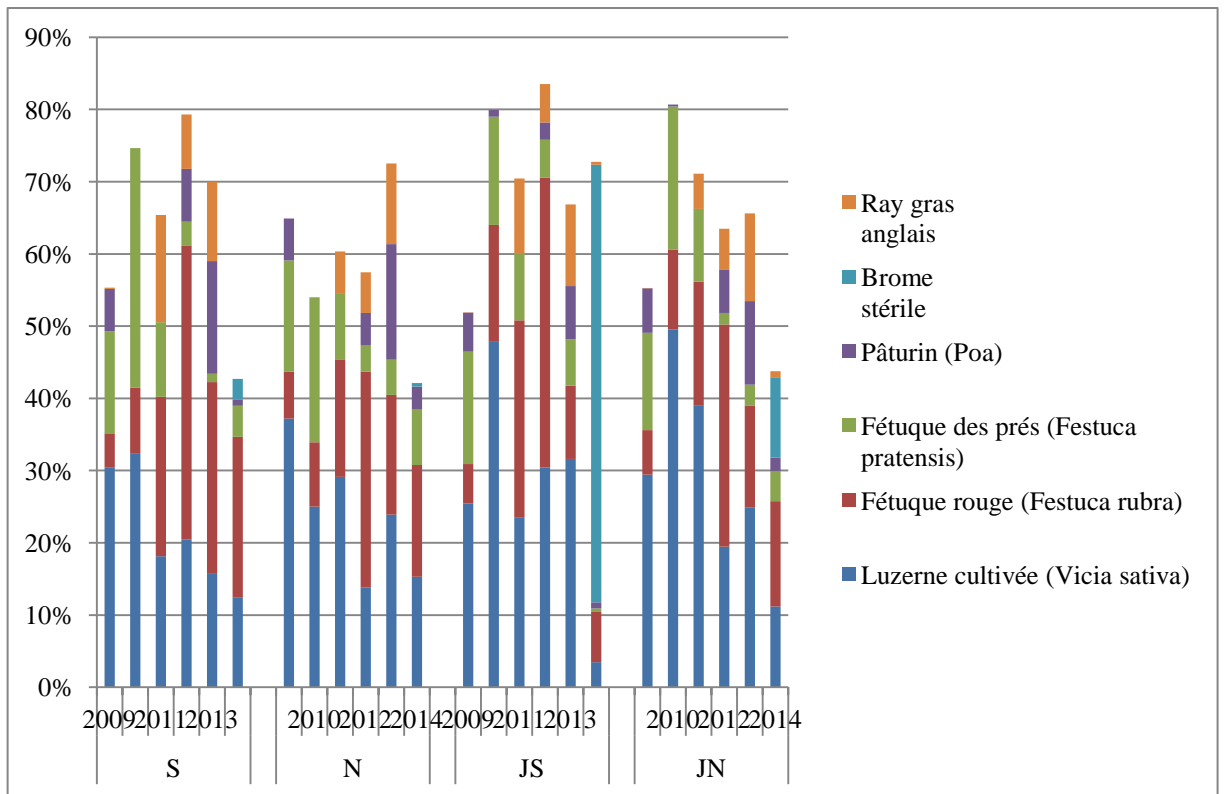
Deux dynamiques sont observables, celle des modalités ayant un broyage en septembre et celle ayant un broyage en novembre. La première en dents de scie et la seconde où la biodiversité ne fait qu'augmenter et / ou se stabiliser dans le temps. Il est à ajouter que JS semble être la modalité la plus perturbante quant à la diversité.





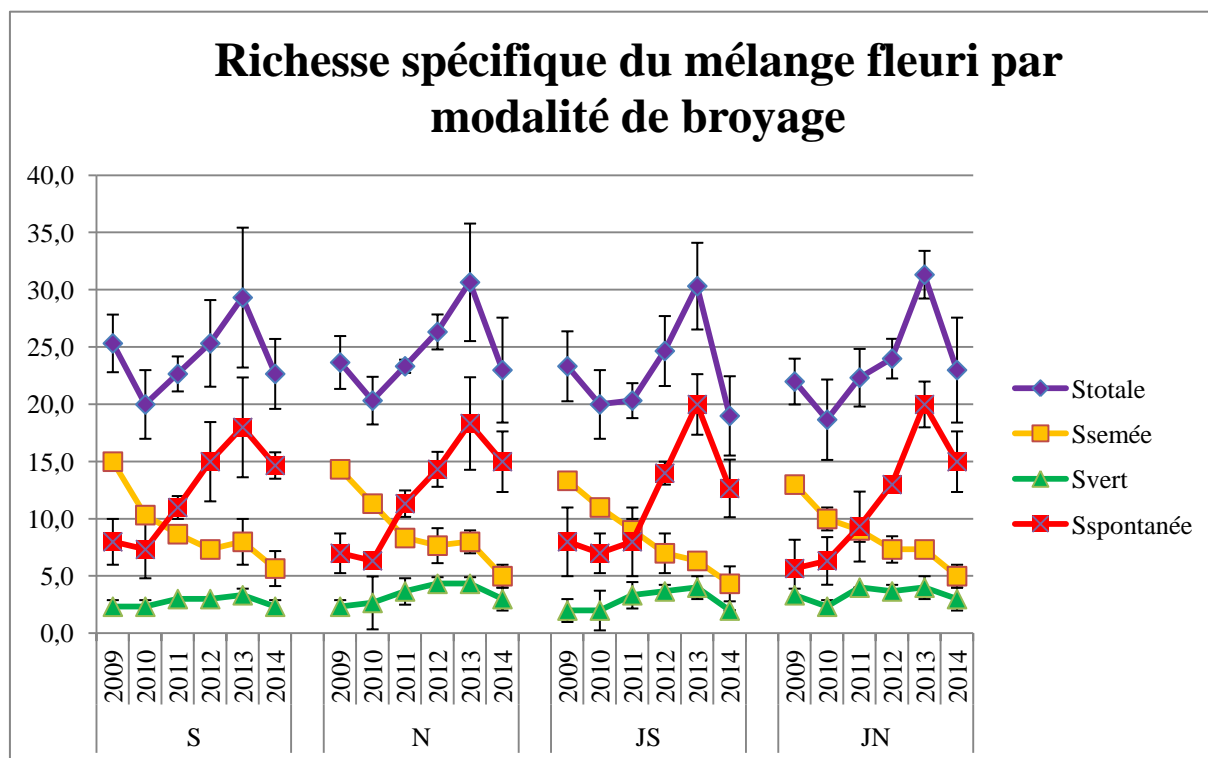
**Figure 7 Recouvrement dans le mélange vert**

Globalement, nous observons au cours du temps une diminution du recouvrement des espèces semées au profit des spontanées. Le sol nu augmente aussi au détriment des espèces semées mais tend à se stabiliser autour des 10% à partir de 2013.



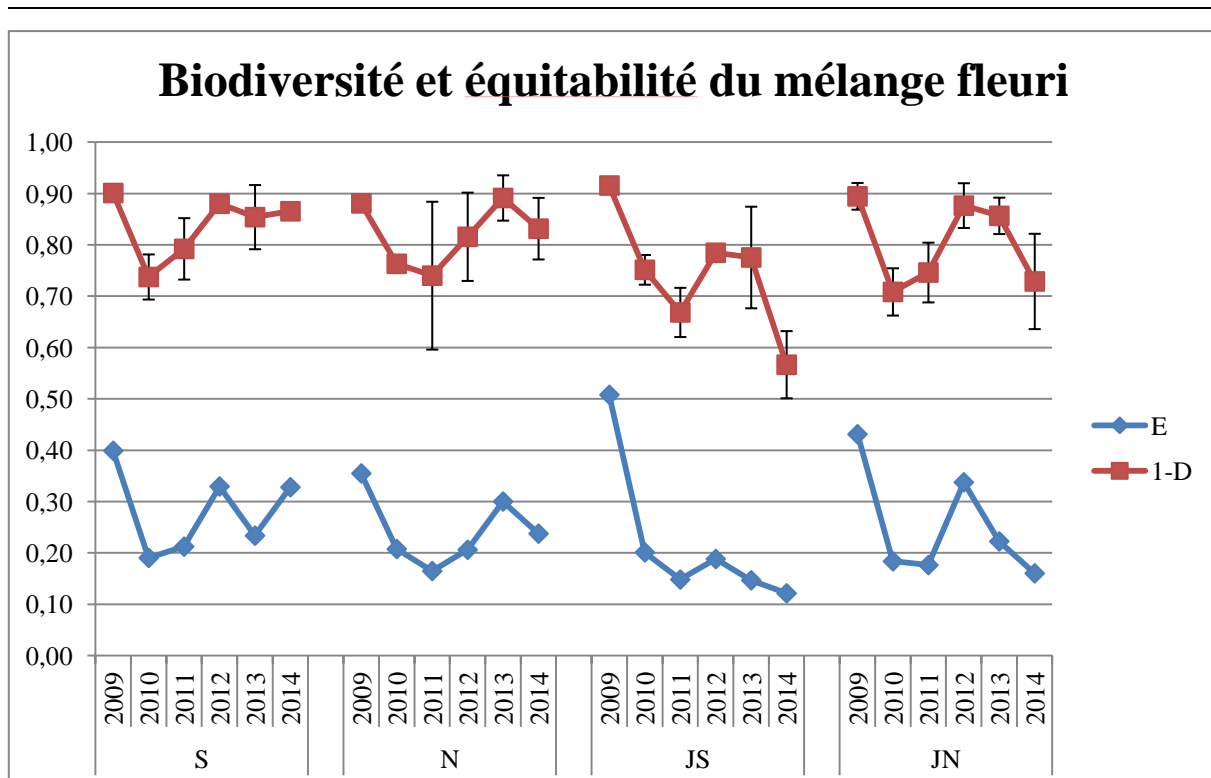
**Figure 8 Recouvrement d'espèces dominantes dans le mélange vert**

La dynamique de ces espèces dominantes est assez proche quelque soit la modalité de broyage. *Bromus sterilis* ne s'implante que tardivement (2013) dans le mélange mais devient problématique dès 2014 dans les modalités à double fauche.



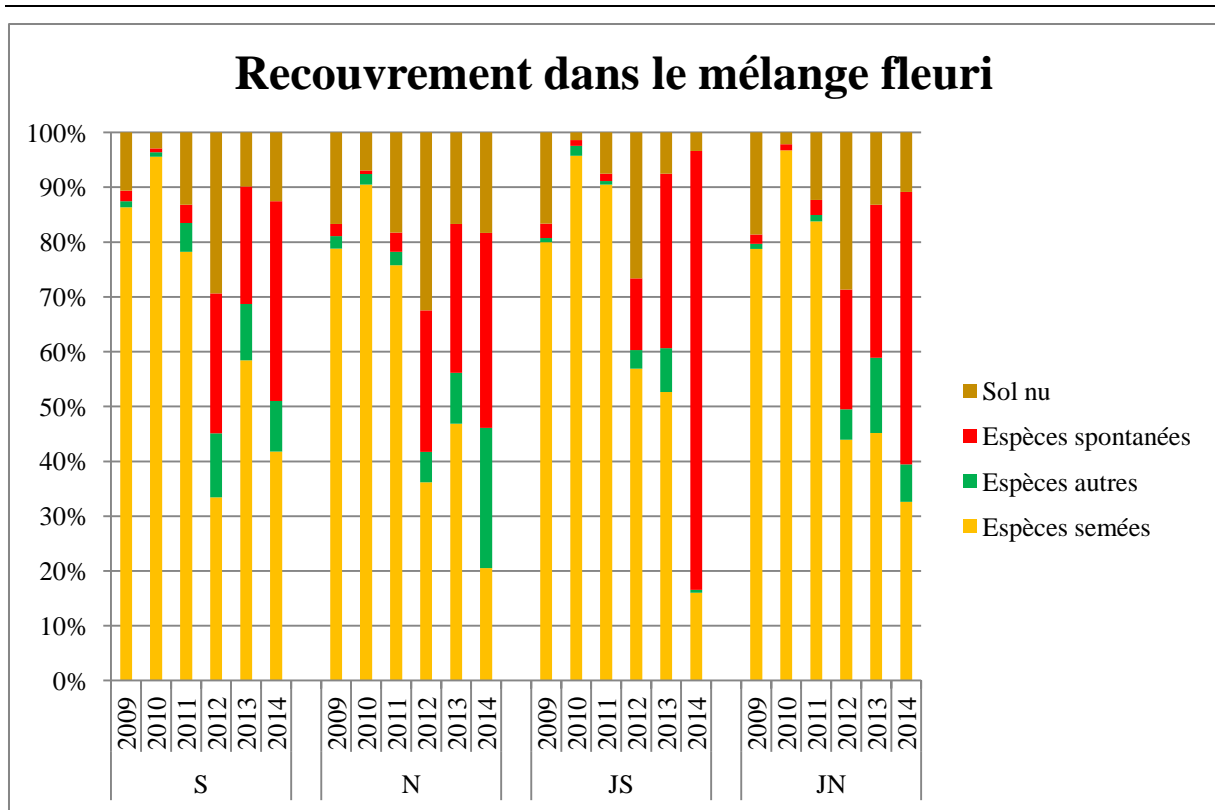
**Figure 9 Richesse spécifique du mélange fleuri par modalité de broyage**

Globalement, nous observons la même dynamique quelque que soit la modalité de broyage dans le mélange fleuri. Une disparition progressive des espèces du mélange se fait au profit des espèces spontanées. Les espèces du mélange vert se maintiennent globalement autour de 2 à 3 espèces par modalité. En 2014, une disparition d'entre 8 et 10 espèces se fait dans toutes les modalités.



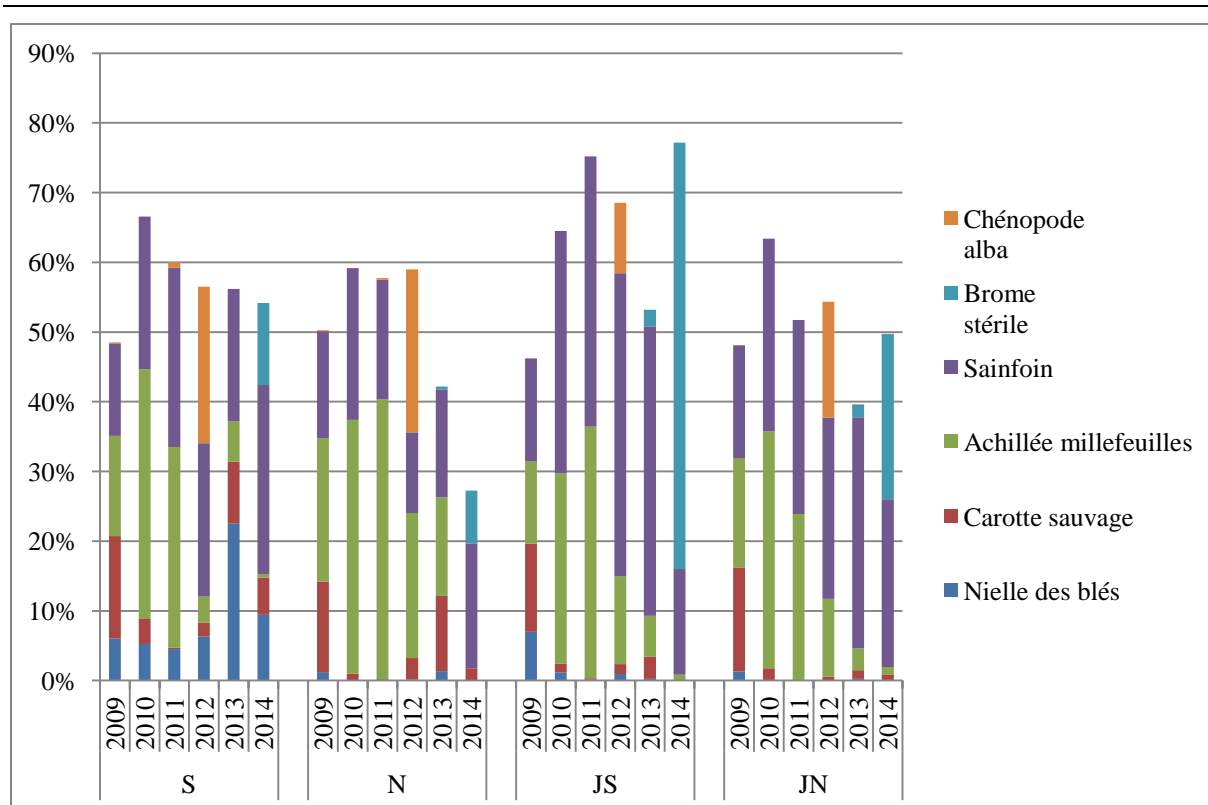
**Figure 10 Biodiversité et équitabilité du mélange fleuri**

Mis à part JS et l'année 2014, les modalités suivent la même dynamique pour la biodiversité. Après une chute en 2009, le système se montre résilient et la diversité augmente pour se stabiliser entre 2012 et 2013. Pour les modalités à double fauche et légèrement N, l'année 2014 se montre défavorable à la diversité avec une chute globale de l'indice.



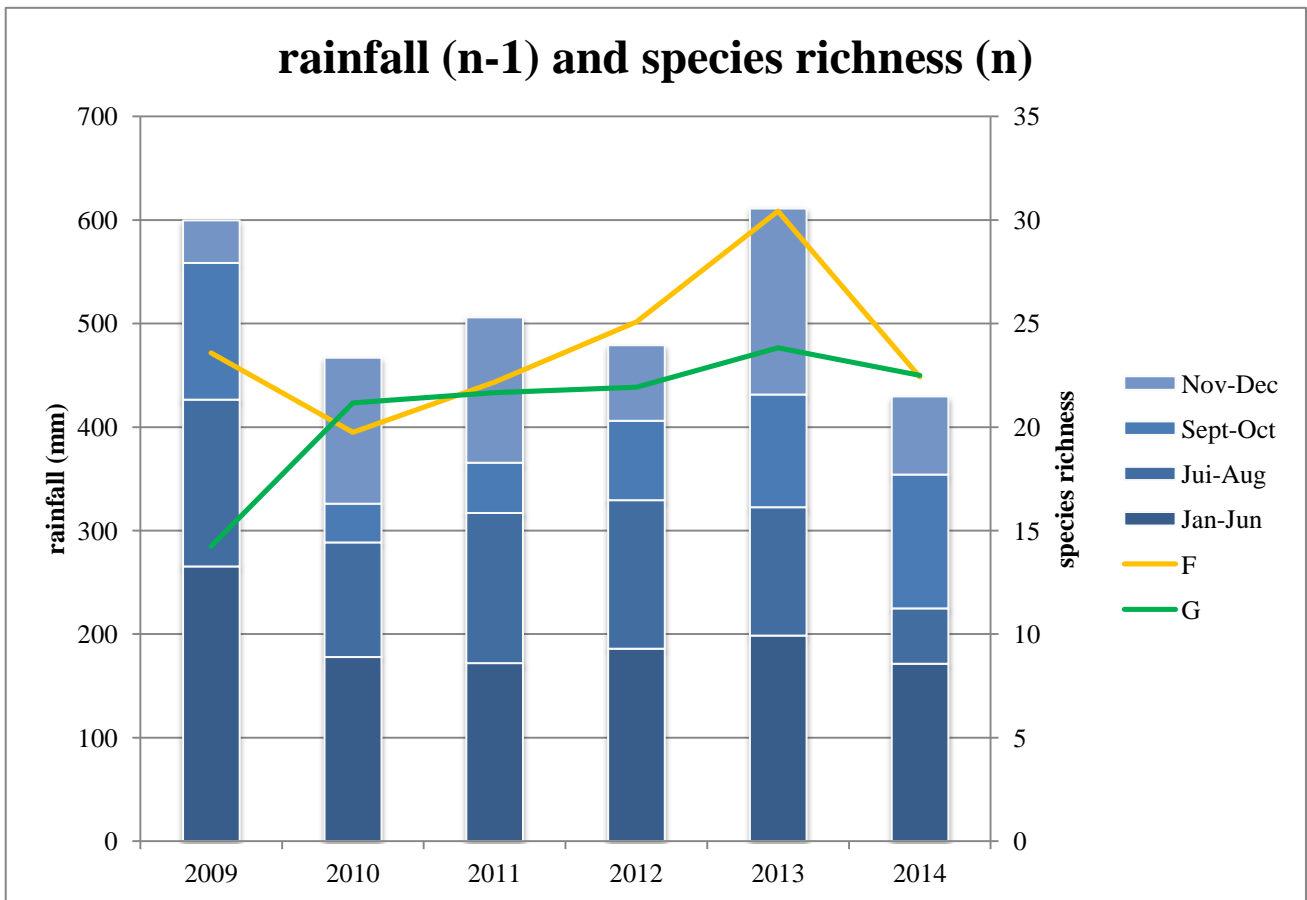
**Figure 11 Recouvrement dans le mélange fleuri**

Le recouvrement des espèces semées ne fait que diminuer au cours du temps à partir de 2010. Cette diminution est profitable au sol nu et aux espèces spontanées et celle du mélange vert. 2014 semble être une année défavorable aux espèces du mélange. Ceci est d'autant plus vrai pour JS, où quasiment 80% des quadrats sont couverts par des espèces spontanées.



**Figure 12 Recouvrement des espèces dominantes dans le mélange fleuri**

Les dynamiques des espèces dominantes sont assez similaires entre modalités de broyages. *Chenopodium alba*, adventice des cultures, se développe que de manière exceptionnelle en 2012. Les espèces semées couvrent moins au fil du temps. *Bromus sterilis*, implantée que tardivement en 2013, s'implante dans toutes les modalités mais est problématique dans les modalités à double fauche (60 % de recouvrement dans JS).



**Figure 13 Richesse spécifique et pluviométrie (mm) par années et mélanges**

Mis à part 2009 et 2010, où les mélanges s'implantent, nous pouvons dire que la richesse spécifique de l'année n semble être corrélée positivement avec la pluviométrie de l'année n+1 ; ceci semble plus prononcé pour le mélange fleuri que le mélange vert.

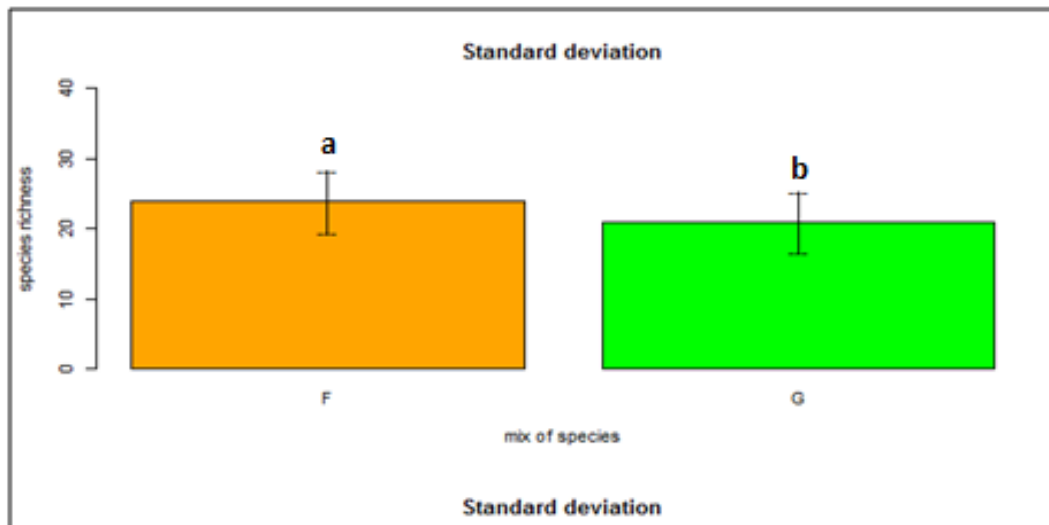
## Annexe 6 Approche factorielle – Résultats

Toutes les classes qui apparaîtront sur les histogrammes seront les classes obtenues à partir des LSD de Fisher.

**Tableau 2 Résultats des deux ANOVA SSPD pour la diversité taxonomique (biodiversité) et la richesse spécifique (Species richness).**

	block	mixofseed	management	mixofseed : management	year	year : mixofseed	year : management	year : management : mixofseed
Biodiversity			**		***	***	**	(.)
Species richness		*			***	***	(*)	

Signif. Codes: NS non-significant, p-value < 0.05 \*, p-value < 0.01 \*\*, p-value < 0.001 \*\*\*  
( ) before epsilon correction

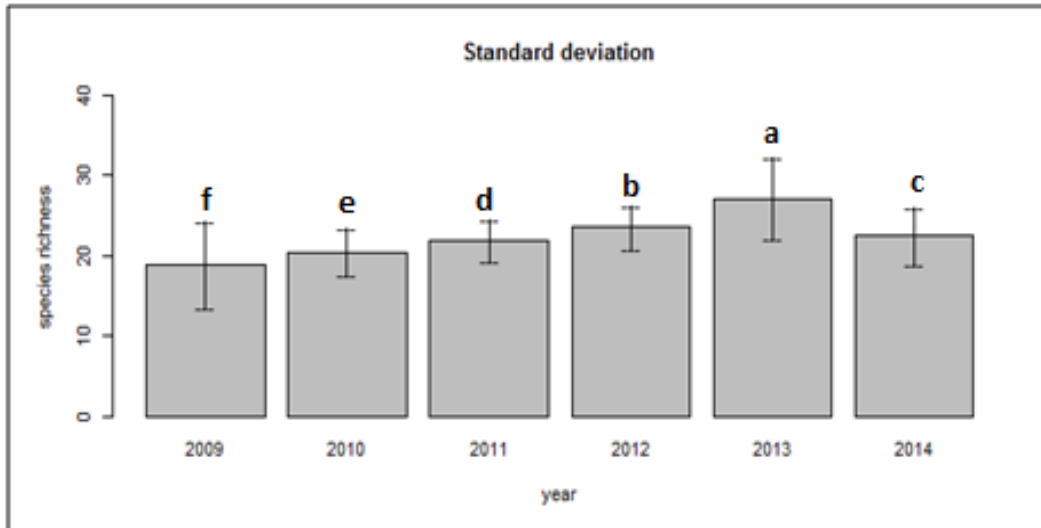


**Figure 14 Histogramme de la richesse spécifique en fonction du mélange**

Ici, l'indice de Simpson est transformé par le logarithme en base 10. Plus la valeur sera proche de 0, plus la diversité sera basse.

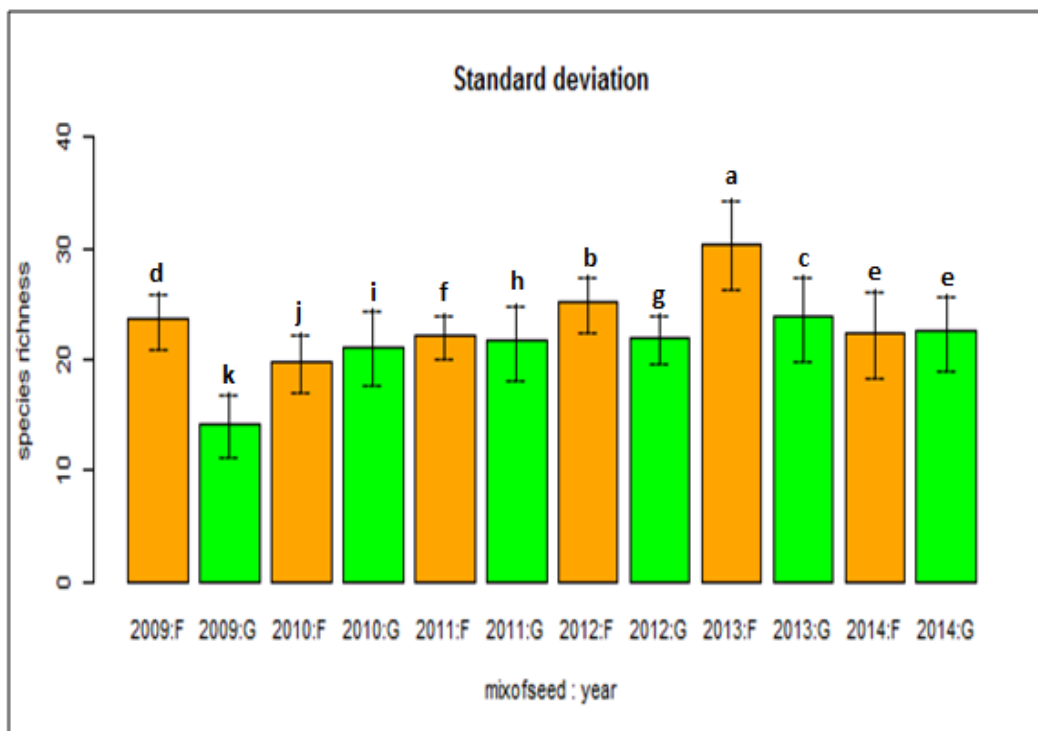
Le mélange fleuri est dans sa globalité supérieur au mélange vert quant à la richesse spécifique.



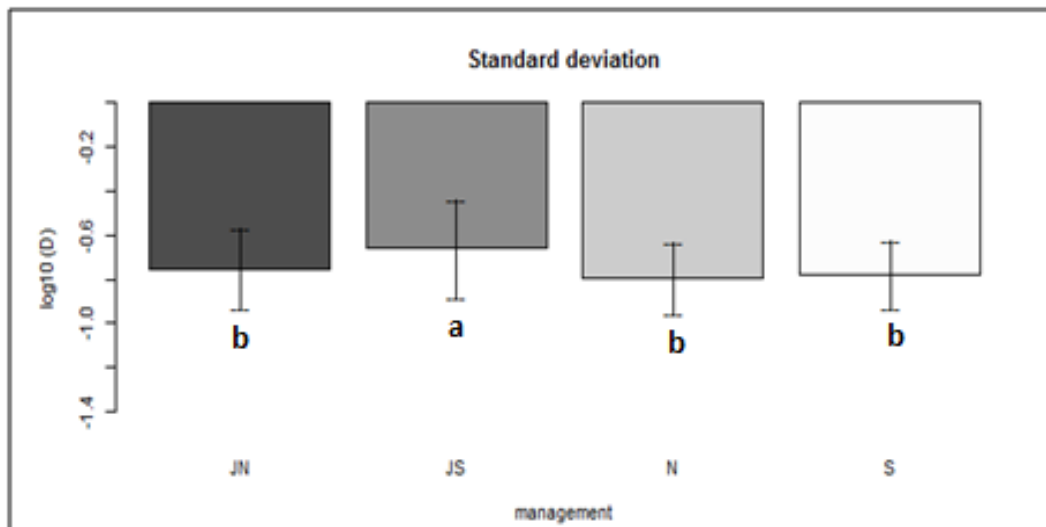


**Figure 15** Histogramme de la richesse spécifique par année

Il y a entre 2009 et 2013 une augmentation constante de la richesse spécifique. Seule l'année 2014 dénote avec une chute du nombre d'espèces présent en moyenne.



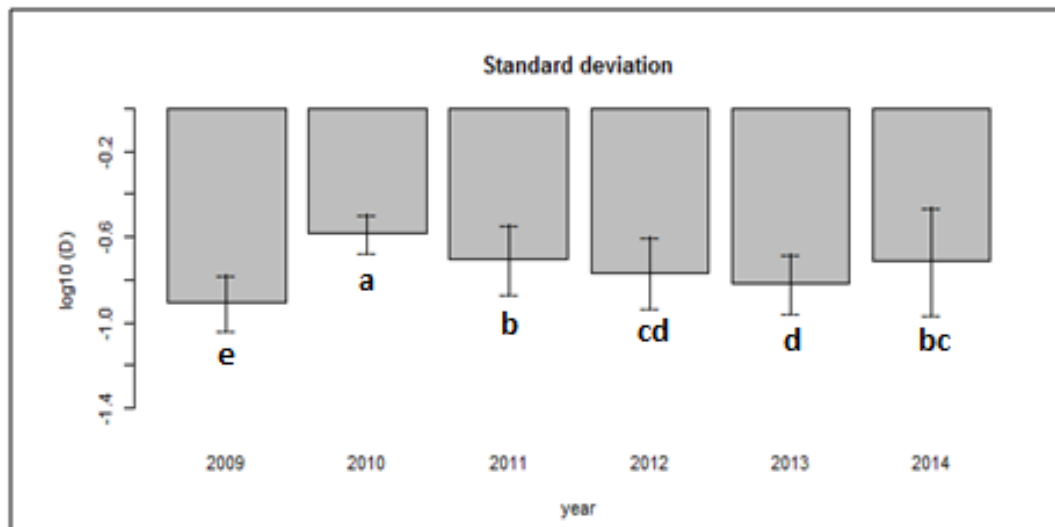
**Figure 16** Histogramme de la richesse spécifique en fonction du mélange par année



**Figure 17 Histogramme du log ( D ) en fonction des modalités de broyage**

Ici, l'indice de Simpson est transformé par le logarithme en base 10. Plus la valeur sera proche de 0, plus la diversité sera basse.

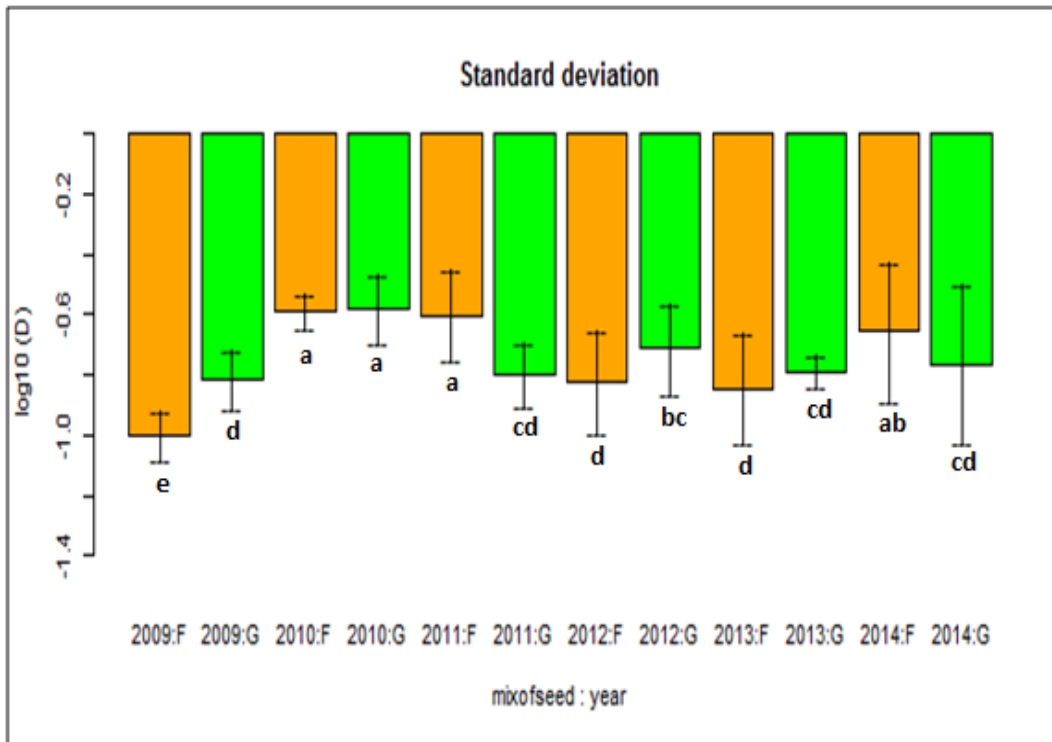
La biodiversité moyenne la plus basse est JS (classe a,  $\log(D) = -0.66$ ,  $D = 0.22$ ) Les trois autres modalités sont équivalentes (classe b) avec une biodiversité moyenne de 0.17.



**Figure 18** Histogramme du  $\log (D)$  en fonction des années

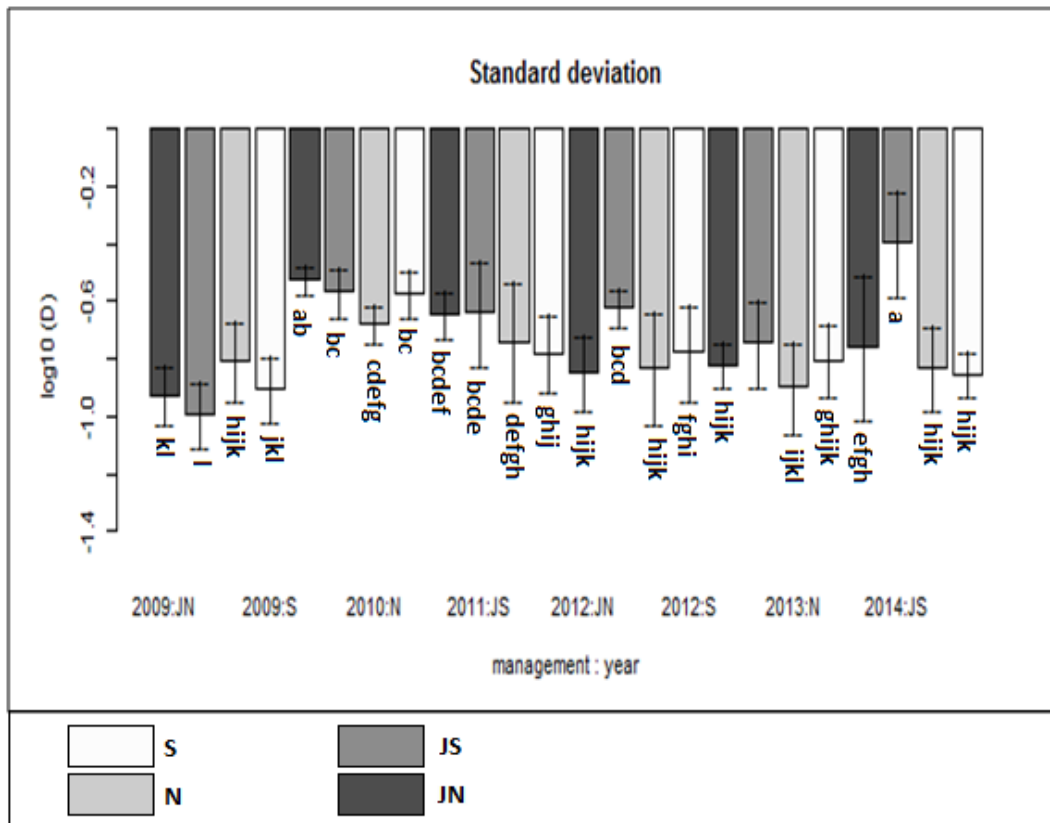
Ici, l'indice de Simpson est transformé par le logarithme en base 10. Plus la valeur sera proche de 0, plus la diversité sera basse.

L'année d'implantation (2009) est la plus diverse (classe e), suivie par l'année 2013 (classe d). L'année 2012 reste proche de l'année 2013 en termes de biodiversité mais dans une mesure moindre et reste apparentée à l'année 2014 (classe bc). L'année 2014 est proche de l'année 2011 (classe b) pour la biodiversité présente. L'année la moins diverse est l'année 2010 (classe a). L'année d'implantation est donc la plus diversifiée, suivie d'une chute en 2010. La biodiversité du système augmente par la suite jusqu'en 2013 puis rechute en 2014.



**Figure 19** Histogramme du log ( D ) en fonction du mélange et par année

Ici, l'indice de Simpson est transformé par le logarithme en base 10. Plus la valeur sera proche de 0, plus la diversité sera basse.



**Figure 20** Histogramme du log ( D ) en fonction des modalités de broyage et par année

Ici, l'indice de Simpson est transformé par le logarithme en base 10. Plus la valeur sera proche de 0, plus la diversité sera basse.

## Annexe 7 Approche taxonomique – Résultats

### Tableau 3 Matrice scorée des espèces présentes dans le mélange vert par modalité de broyages et années

modalités de broyage	S						N						JS						JN					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014
année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nielle des blés	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	2	1	0	0	2	4	0	0	0
Pâquerette	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carotte sauvage	2	36	36	36	36	36	16	12	36	12	36	27	2	36	27	27	36	36	0	27	12	0	36	18
Camomille	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Luzerne lupuline	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Trèfle incarnat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bleuet des champs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Achillée millefeuille	2	36	16	16	16	1	16	36	36	1	8	1	3	36	36	36	36	1	16	36	12	1	3	1
Marguerite commune	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Renoncule acre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sainfoin	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Luzerne cultivée	3	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Trèfle violet	3	36	16	12	36	1	3	36	18	8	1	1	3	36	36	27	27	8	36	36	18	12	8	18
Lotier	3	36	36	36	36	27	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	12	36	36	36	36	12	16
Centaurée noire	3	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	16	36	36	36	36	36	36	36
Fétuque rouge	3	36	36	36	36	36	36	36	36	36	27	36	36	36	36	36	27	27	36	36	36	36	36	18
Fétuque des prés	3	36	36	36	36	36	36	36	36	27	18	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	27
Crételle	3	36	0	0	0	0	3	18	0	0	0	0	3	27	0	0	0	1	27	9	0	0	1	0
Pâturin	3	36	18	18	27	9	3	36	1	27	36	9	3	36	18	27	18	8	36	36	8	27	18	9
Apiacées	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Armoise commune	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Agrostide	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Arroche étalée	0	0	8	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0
Benoîte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Blé	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	4	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Bouillon blanc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brassicacées	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Brome inerme	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Brome Stérile	0	0	0	1	0	16	0	0	0	4	1	8	0	0	0	0	18	36	0	0	0	1	8	27
Brome Mou	0	1	0	1	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	4	0	1
Brome sp	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	9	8	0	0	0	0	0	1
Capselle	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
Cardère (Cabaret des oiseaux)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chardon sp	1	1	36	27	18	27	0	1	27	27	27	36	0	0	12	27	16	36	0	0	36	27	36	27
Cardus	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Chardon Carduus crispus	0	0	1	8	1	1	0	0	1	4	4	0	0	0	0	18	1	0	0	0	1	1	8	0
Céraiste des champs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0
Cerisier	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cirse commun irsium vulgare	2	36	4	0	4	8	1	36	18	0	2	2	0	16	1	0	1	1	3	27	1	0	0	1
Cirse des champs irsium arvense	0	1	0	0	9	18	0	0	8	0	18	18	0	0	0	0	18	2	1	0	8	0	2	1
Charme	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chénopode hybride	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Chénopodium album	1	36	18	36	1	0	1	36	8	36	1	27	0	36	36	36	1	0	1	36	36	36	1	27
Chiendent	0	18	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	18	0	0
Colza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0

Compagnon blanc	0	27	0	8	1	0	0	27	27	12	12	12	0	0	0	4	0	3	0	27	27	16	27	27
Coquelicot	0	27	36	18	36	12	1	9	12	4	16	12	1	27	18	1	27	27	0	1	18	1	27	27
Dactyle aggloméré	0	1	2	8	12	27	0	0	1	18	27	12	0	1	0	9	27	18	1	0	18	18	27	27
Euphorbe réveil matin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0
Fromental	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4	0
Gaillet gratteron	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	2	8	0	0	0	9	8	1	0	0	1	0	1	18
Gaillet mou	0	0	1	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3	3
Geranium@issecum	0	36	12	18	27	0	0	27	18	18	27	1	1	27	36	27	27	0	2	12	27	36	27	0
Graminées	0	0	1	1	0	36	0	0	0	0	0	27	4	0	1	0	0	36	0	0	0	0	0	36
Grande mauve	1	0	1	0	8	0	0	2	4	1	8	0	1	1	0	0	36	0	0	0	1	1	18	0
Laiteron sp	0	1	27	27	18	1	0	8	36	27	8	27	0	2	3	18	18	27	0	2	27	27	18	36
Laiteron@araicher	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Laiteron@ude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8	0
Laitue Scariole	1	1	0	0	0	0	1	0	2	0	0	18	4	0	0	0	0	8	0	1	0	0	0	4
Langue de chien	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Liondent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Liseron des champs@onvolvulus arvensis@	3	3	2	0	4	0	1	1	0	1	0	0	16	12	2	2	12	2	12	1	0	8	3	3
Liseron des haies@alystegia sepium	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	2
Matricaire	0	2	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mauve	0	0	0	4	1	0	0	0	0	8	1	0	0	0	0	8	4	0	0	0	0	18	1	0
Mercuriale	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0
Mouron	0	1	1	1	0	0	0	1	1	18	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	12	27	1	0
Moutarde@inapis alba	0	1	2	1	1	0	0	0	0	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	1	27	0
Noyer@uglans regia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	4	4	4	0	0	0	0	0	0	12
Ortie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	1	0	0	0
Panic pied de coq	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Pensée	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phacélie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phléole	0	18	0	1	0	0	0	18	0	1	1	0	0	27	18	1	0	0	0	2	18	8	0	0
Pissenlit	1	0	4	3	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	1	16	0	1	0	0	0	0	0	1
Plantin lanceolé	2	27	18	27	18	2	0	27	9	27	18	1	1	18	16	18	27	0	2	18	27	36	9	0
Ray gras anglais	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	2	8	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	3
Réseta jaune	1	36	0	0	0	0	0	16	0	0	8	0	0	1	0	0	1	0	0	12	0	0	0	0
Rumex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salsifis des prés@ragopogon pratensis	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0
Renouée des oiseaux	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Rubus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Rumex	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sénécon commun	0	0	18	1	18	0	0	0	2	0	8	0	0	0	1	0	9	0	0	0	1	0	4	0
Sorgho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Stellaire holostée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Tortilis des champs	0	0	0	0	18	27	0	0	0	0	4	27	1	0	0	1	8	18	0	0	1	1	8	18
Trèfle blanc@rifolium repens	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Trèfle sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0
Vergerette canada	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Véronique à feuilles de lierre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Verveine officielle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vulpin	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 4 Matrice scorée des taxons présents dans le mélange fleuri par modalités de broyage et années**

Modalités de broyage	S						N						JS						JN					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Répétition																								
Nielle des blés	36	36	36	36	36	27	27	27	27	8	27	27	27	27	18	18	27	0	27	27	12	27	12	0
Pâquerette	36	36	9	0	8	0	27	36	1	0	1	0	36	27	18	0	0	0	36	27	9	0	1	0
Carotte sauvage	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	27	36	36	36	36	36	0	36	36	36	36	36	36
Camomille	27	0	0	0	0	0	18	1	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
Luzerne lupuline	36	27	27	1	36	0	36	27	27	4	27	0	36	27	18	1	27	0	36	27	18	0	27	0
Souci officinale	18	0	0	0	0	0	27	8	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	27	1	0	0	0	0
Trèfle incarnat	27	18	0	0	0	0	36	18	0	0	0	0	36	9	1	0	0	0	27	1	0	0	0	0
Marguerite dorée	18	0	0	1	0	0	18	1	0	1	0	0	1	4	0	1	0	0	8	1	2	4	0	0
Bleuet des champs	27	1	0	1	2	0	27	0	0	0	0	0	27	2	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
Ancolie commune	18	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Achillée millefeuilles	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	4	36	36	36	36	36	0	36	36	36	36	36	18
Marguerite commune	36	36	4	1	1	1	36	36	36	18	1	0	36	36	16	2	0	0	36	36	27	4	4	0
Lotier corniculé	36	36	36	36	36	12	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	0	36	36	36	36	36	36
Renoncule acre	36	36	36	27	12	8	36	36	36	27	18	8	36	36	36	18	1	2	27	36	36	27	12	8
Sainfoin	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	18	36	36	36	36	36	36	36
Trèfle violet	4	4	8	1	8	0	4	12	8	18	8	2	4	36	27	1	12	0	18	27	1	8	1	0
Lotier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Centaurée noire	0	0	0	0	0	0	1	3	8	3	12	12	0	0	0	2	1	0	0	0	8	0	1	8
Fétuque rouge	8	8	36	36	27	9	8	1	27	36	36	36	8	1	27	36	27	0	18	1	27	36	36	18
Fétuque des prés	8	8	27	36	4	18	0	4	12	36	27	18	1	1	12	27	27	1	18	12	18	36	18	16
Crételle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pâturin	1	4	1	8	27	1	4	8	8	18	27	9	1	1	4	9	18	0	1	1	9	18	18	8
Sanguisorbe	4	0	0	36	16	16	1	0	0	36	36	36	9	1	0	27	27	18	4	0	0	36	36	36
Amarante	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	4	0	0	0	0	0	0
Apiacées	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arbuste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0
Armoise commune	0	0	4	0	0	0	0	0	18	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Arroche étalée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bardane	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0
Benoîte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blé	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bouillon blanc	0	0	0	0	18	0	0	0	0	1	8	0	0	0	0	4	18	0	0	0	0	9	18	0
Brassicacée sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brome inerme	0	0	0	1	1	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	8	0	0
Brome Stérile	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	9	0	0	0	0	9	36	
Brome Mou	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Brome sp	0	0	0	0	4	9	4	0	0	0	2	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	9	
Camomille	1	0	8	8	1	0	1	0	36	36	36	0	0	1	8	36	2	0	0	0	4	8	36	0

Pierre-Alexandre Willot

M2 – Valorisation et Transformation des Productions Agricoles

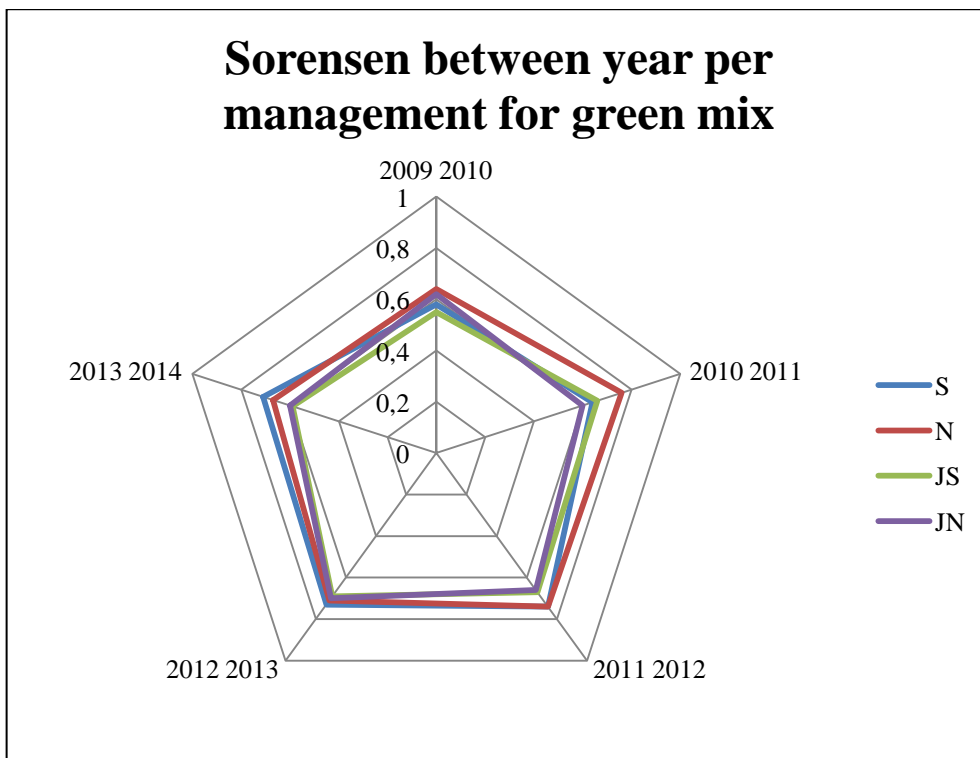


Capselle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0
Chardon sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Chardon crépu	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Céraiste aggloméré	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Céraiste des champs	0	18	0	0	1	0	0	36	0	0	9	0	4	36	1	0	0	0	0	27	1	0	0	0
Cerisier	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cirse des champs	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Charme	4	0	12	36	0	0	18	0	18	36	1	0	4	0	2	36	4	0	1	0	2	36	4	0
Chénopode Hybride	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0
Chénopodium album	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	3
Chiendent	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	2	1
Cirse des champs	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	36	16	0	0	0	0	0	3	0
Colza	1	8	36	4	36	0	0	0	8	9	36	0	1	0	1	1	27	0	0	0	0	4	27	0
Compagnon blanc	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Coquelicot	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cornouiller	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Coronille	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cosmos	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	4	18	0
Crépis capillaris	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dactyle aggloméré	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	36	0
Erable	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fromental	1	0	0	2	8	4	0	0	0	1	27	0	0	0	0	18	27	0	1	0	0	0	18	1
Fumeterre	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0
Gaillet gratteron	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	27	0
Gaillet mou	12	36	27	36	27	0	0	36	4	27	18	0	0	36	8	36	27	2	0	27	18	27	27	1
Géranium herbe à Robert	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graminées	2	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
Grande mauve	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Houlque molle	2	0	0	1	18	0	1	0	0	1	18	0	4	0	1	1	18	0	1	0	4	4	36	0
Inconnue	0	0	0	27	18	0	0	0	27	27	18	0	0	0	0	27	18	0	0	0	0	27	18	0
Laiteron	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
Laiteron rude	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Laitue Scariole	0	2	1	1	0	4	18	12	8	16	2	4	8	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
Lamier pourpre	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Langue de chien	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Linaire commune	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8	0
Liondent	12	12	9	4	0	0	1	12	8	1	0	0	2	8	0	0	0	0	18	3	0	0	0	0
Liseron champs	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

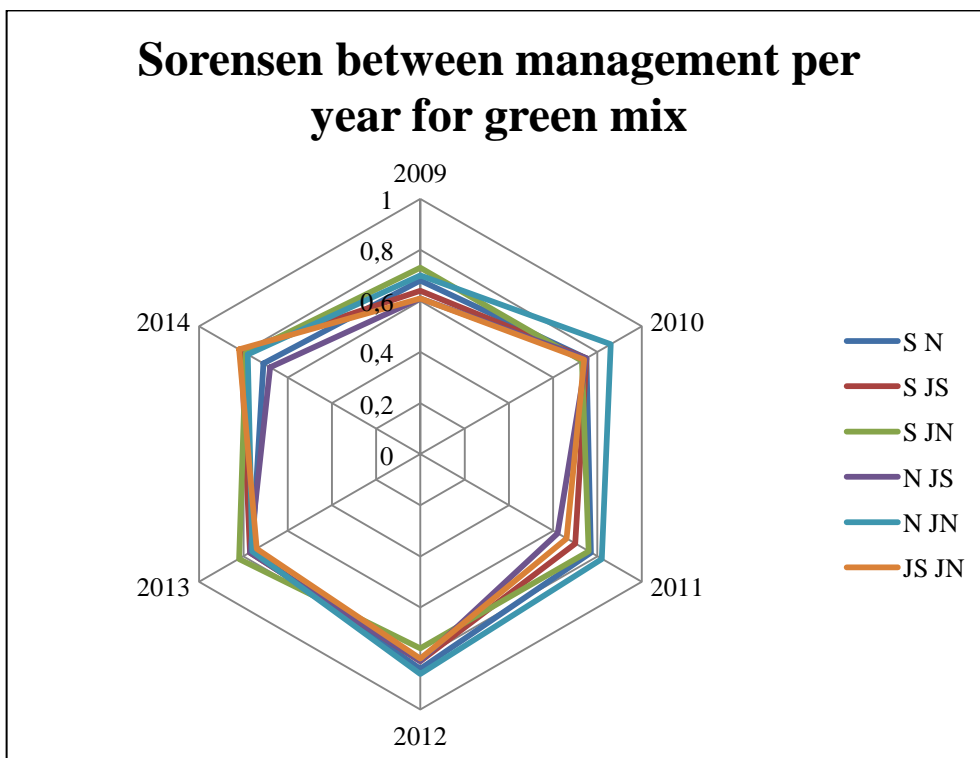
Liseron des haies	0	0	0	1	3	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	8	36	0	0	0	0	0	12	0
Liseron des haies	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Luzerne cultivée	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Matricaire	1	0	0	27	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Mauve	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mercuriale	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mouron	0	0	0	0	1	0	1	0	0	8	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	18	2	0
Mouron rouge	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	8	0	1	0	0	1	4	0	8	0
Moutarde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Noyer	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
Orge	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ortie	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pâturin	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pensée	0	18	0	4	0	0	0	8	1	18	9	0	0	4	1	12	1	0	2	4	12	8	1	0
Phacelie	0	0	4	3	12	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Pissenlit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Plantin lanceolé	18	8	8	18	4	2	18	27	27	27	16	0	8	8	4	27	27	0	4	18	18	18	8	0
Plantin majeur	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Ray gras anglais	0	0	0	1	0	9	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
Renouée des oiseaux	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renouée liseron	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Renouée persicaire	0	8	27	1	4	0	0	0	0	0	1	0	0	1	3	4	12	0	0	0	27	0	0	0
Réseda jaune	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rumex	12	36	36	0	0	12	2	36	36	1	0	0	36	36	27	0	1	0	36	36	36	0	0	1
Salsifis des prés	0	0	0	0	1	12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Sanguisorbe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Sénécon commun	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Sétaire	0	0	0	0	18	0	0	0	0	1	27	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	1	9	0
Silène enflée	0	0	1	8	1	0	0	0	12	4	8	0	0	1	3	2	12	0	0	0	4	1	1	0
Tortilis des champs	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
Trèfle blanc	8	0	0	0	8	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Trèfle sp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Vergerette annuelle (Erigeron annuus)	1	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	4	0	0	0	0	0	8	0
Vergerette canada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Véronique	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Vesce hérissée	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vesce cracca	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vipérine commune	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vulpin	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

**Tableau 5 Légende du score de matrices scorées des espèces présentes**

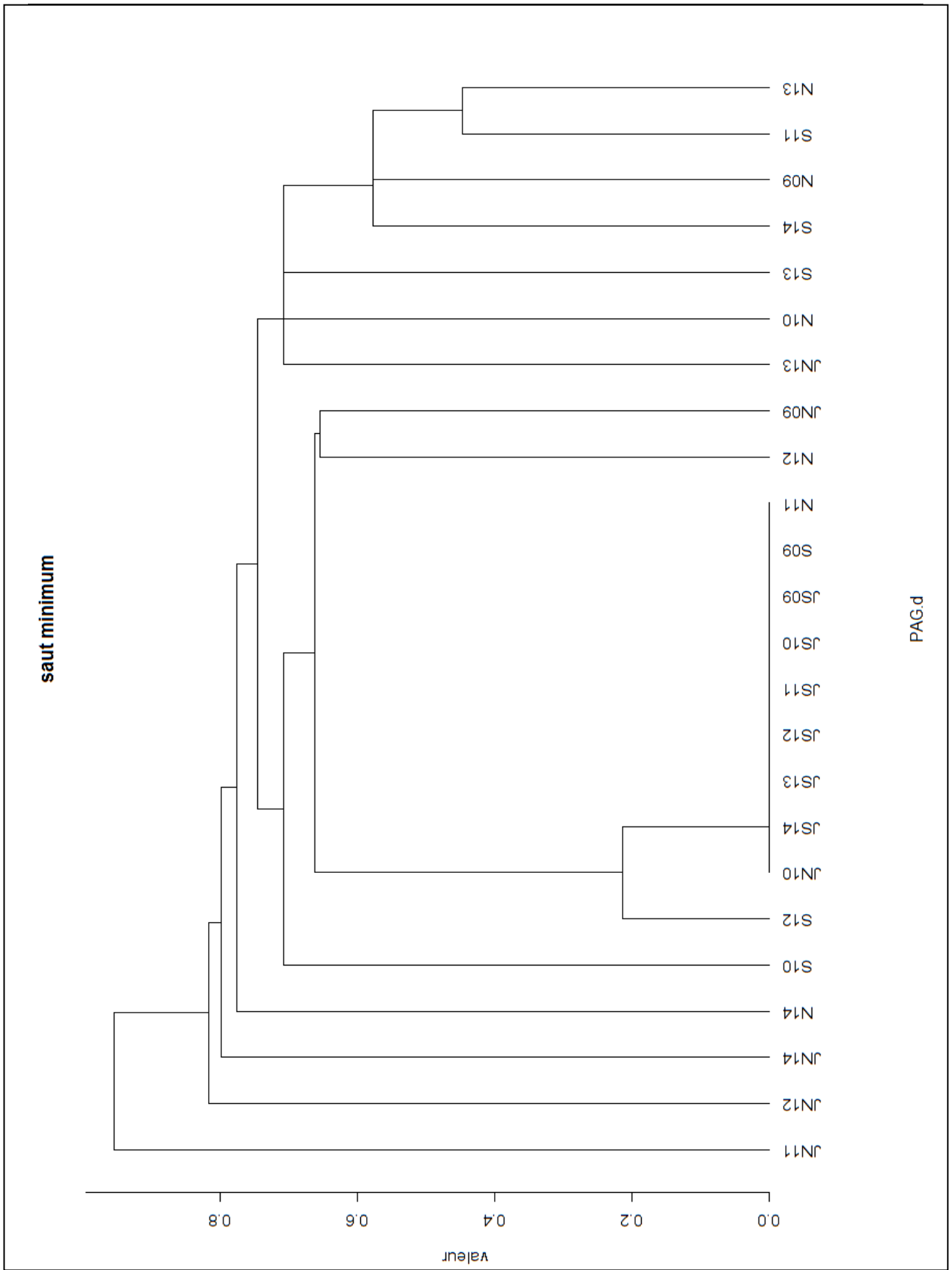
Répétition	Saison	Score
0	0	0
1	1	1
1	2	2
1	3	3
2	1	4
1	4	4
2	2	8
3	1	9
2	3	12
2	4	16
3	2	18
3	3	27
3	4	36



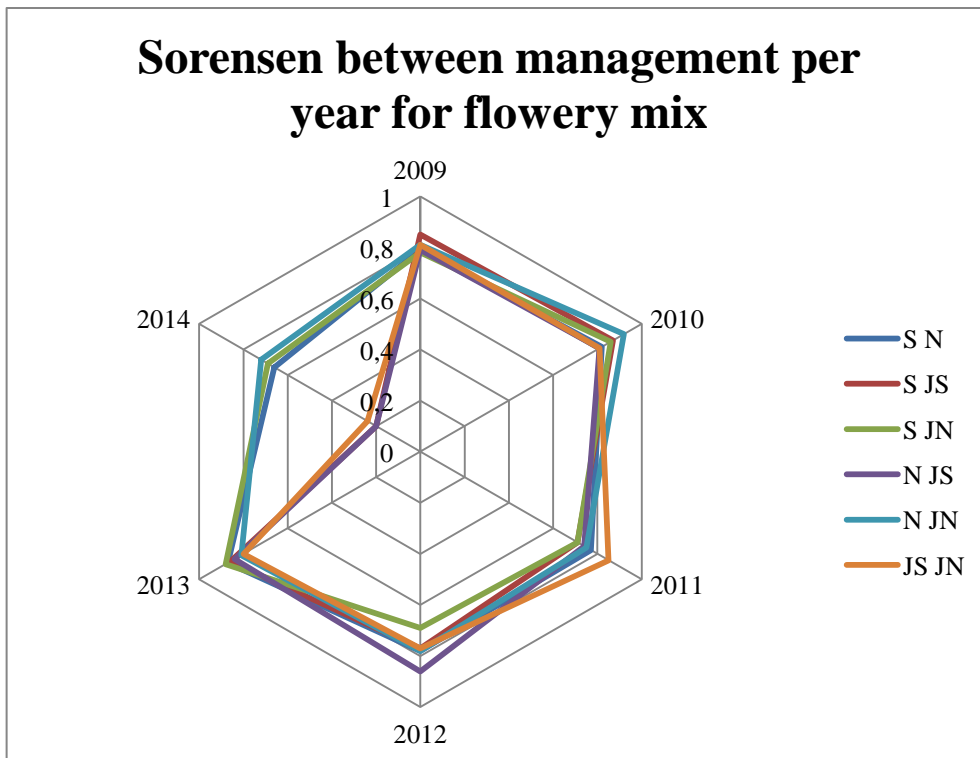
**Figure 21** Indices de Sorensen interannuels par modalité pour le mélange vert



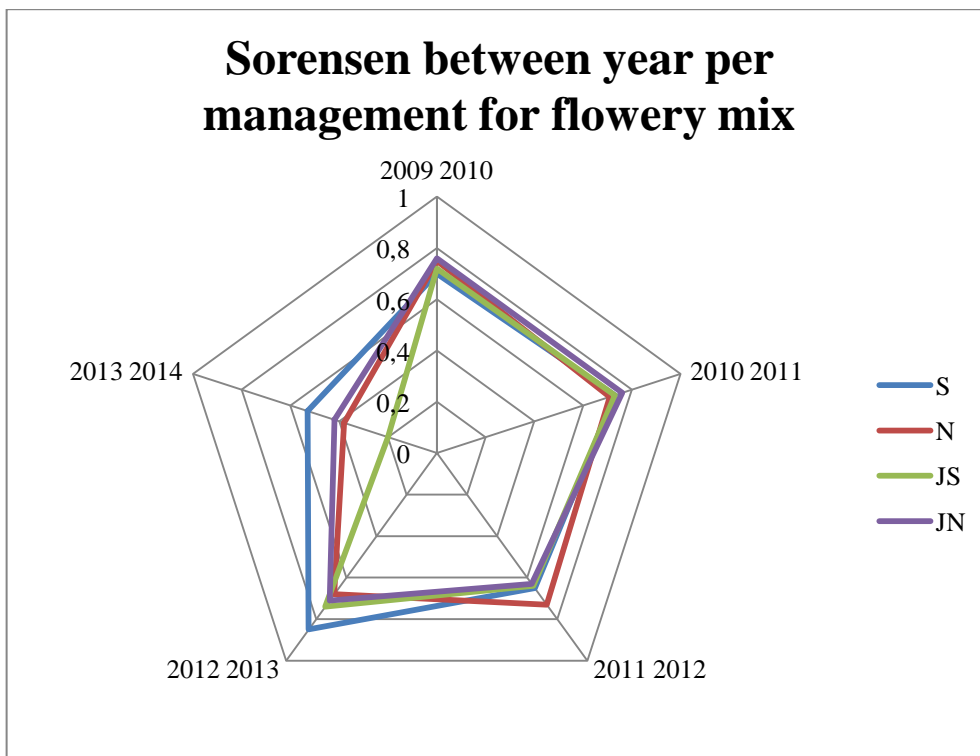
**Figure 22** Indices de Sorensen intermodalités par année pour le mélange vert



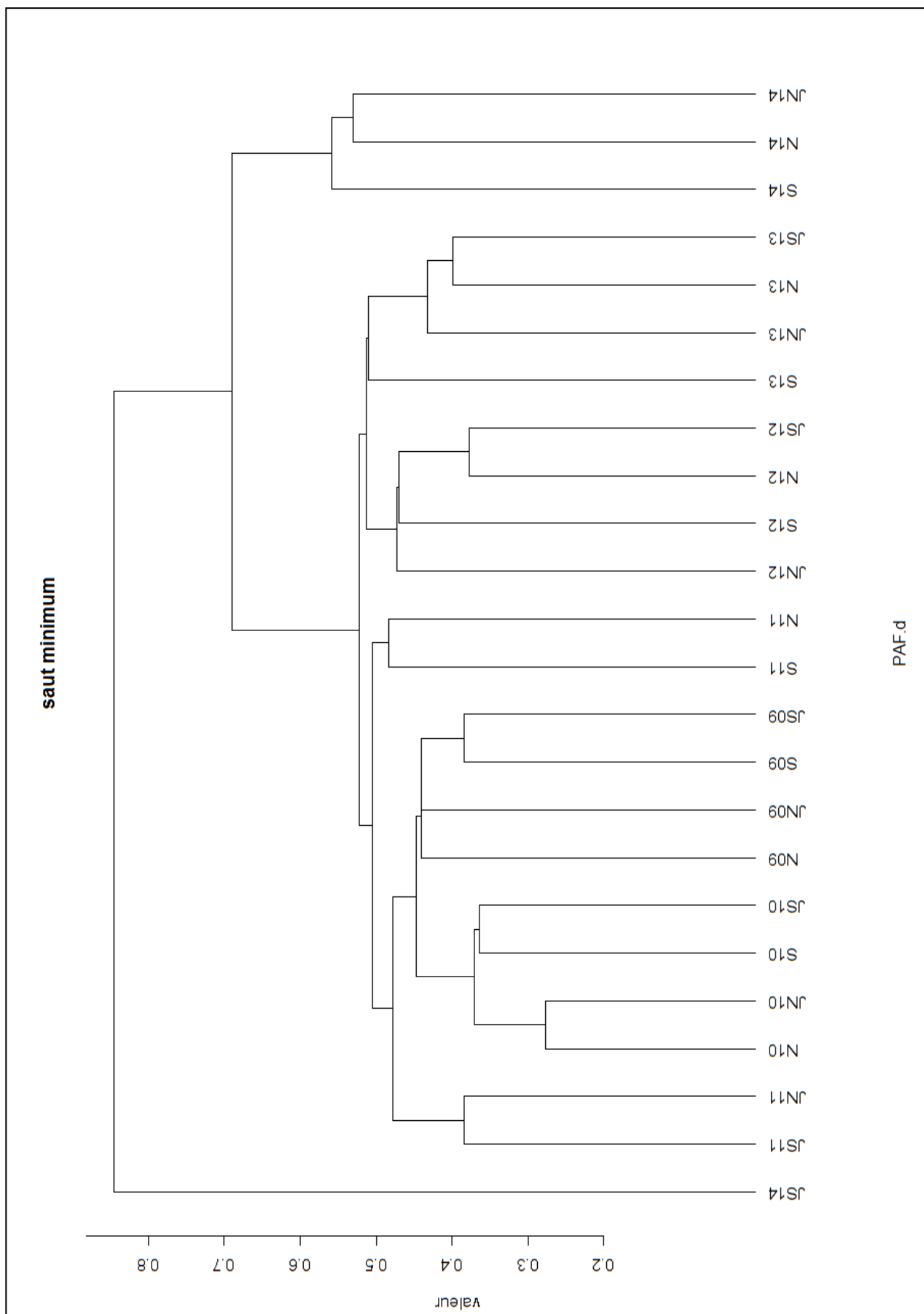
**Figure 23 Dendrogramme du mélange vert par modalité et année**



**Figure 24** Indices de Sorensen intermodalités par année pour le mélange fleuri



**Figure 25** Indices de Sorensen interannuels par modalité pour le mélange fleuri



**Figure 26 Dendrogramme du mélange fleuri par modalité et année**

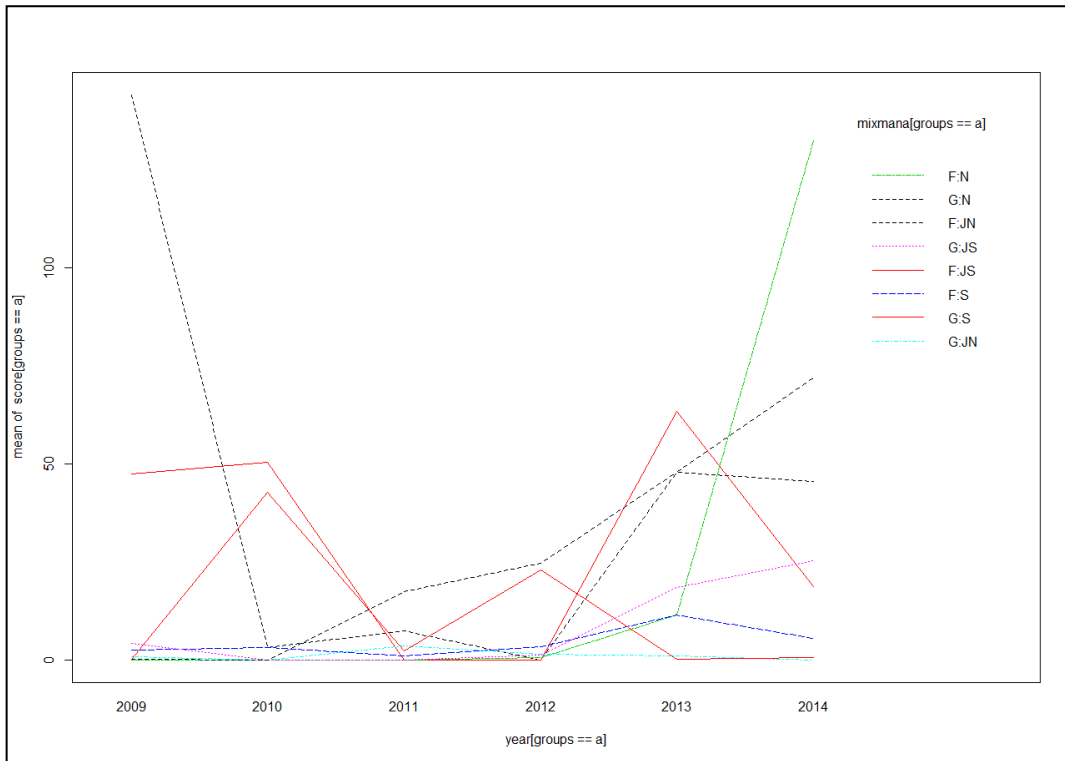
---

**Annexe 8 Approche fonctionnelle – Résultats****Tableau 6 Groupes de traits fonctionnels possible sur les microparcelles**

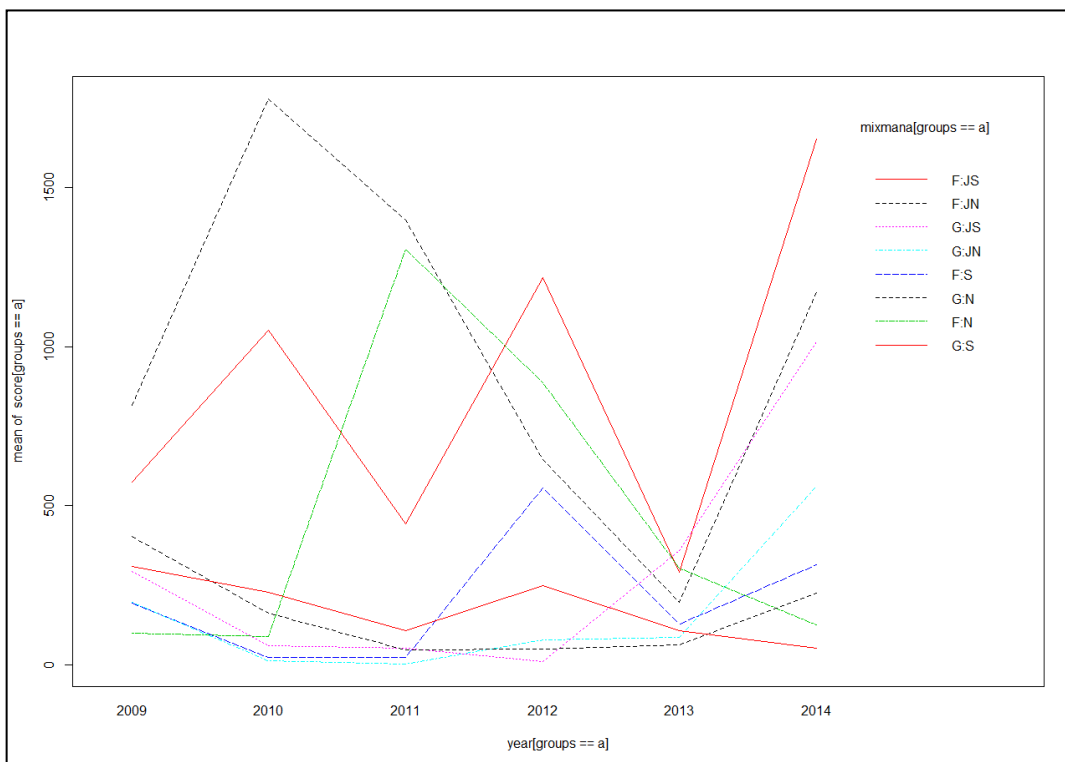
Groupe	Grime	Raunkiaer	Hauteur maximale (m)
1	CR	Hémi / Géophyte	>1
2	R , S	Thérophyte	<1
3	CR/CSR	Hémicryptophyte	<1
4	SC	Phanérophyte	X
5	X	Chaméphyte	X
6	X	X	X

X signifie qu'il n'y pas de caractéristique précise dans le groupe.

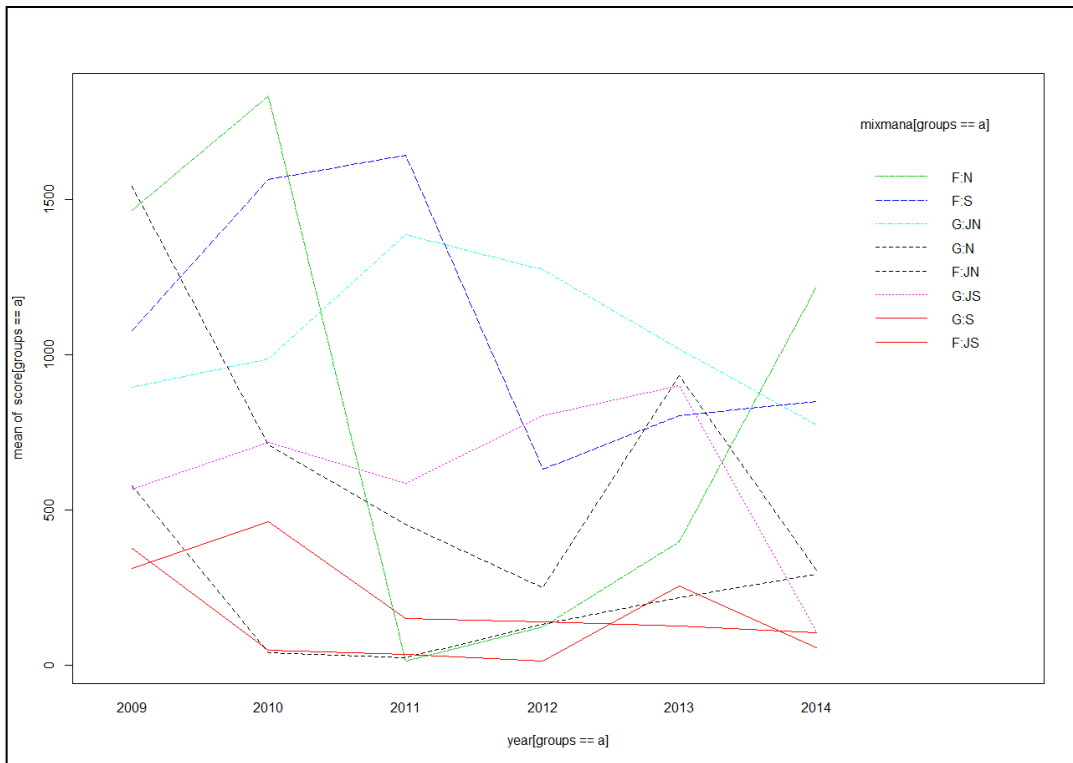




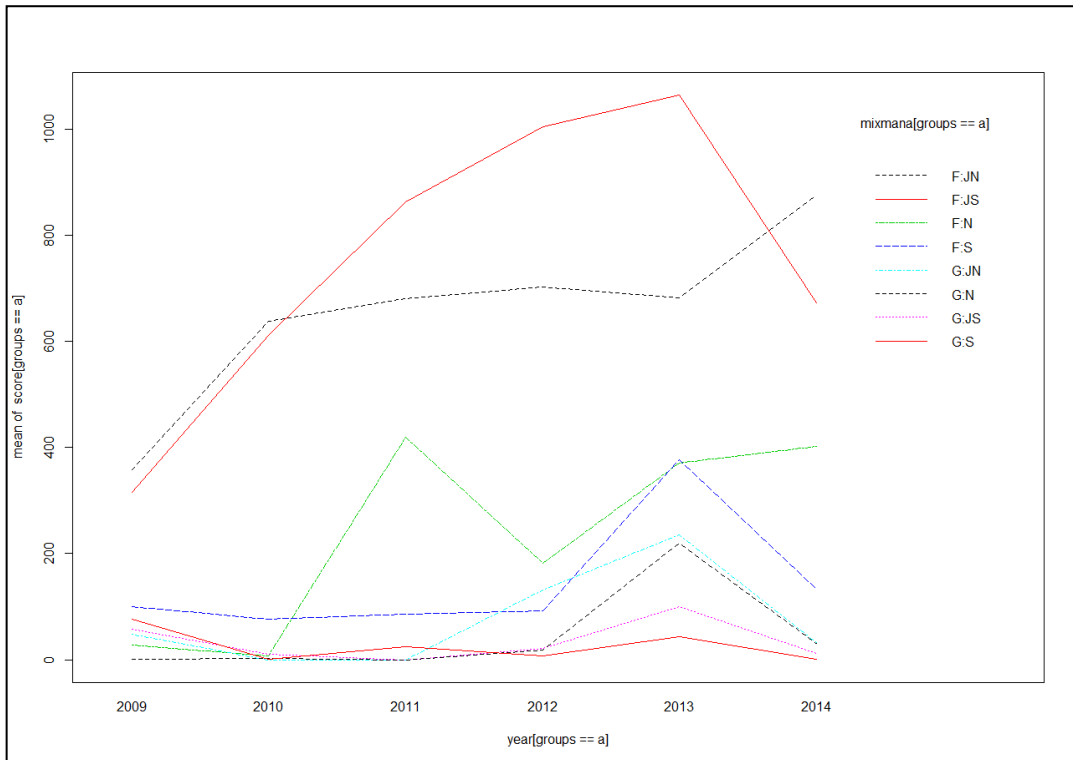
**Figure 27** Score moyen du groupe 1 par mélanges, modalités de broyage et années



**Figure 28** Score moyen du groupe 2 par mélanges, modalités de broyage et années



**Figure 29** Score moyen du groupe 3 par mélanges, modalités de broyage et années



**Figure 30** Score moyen du groupe 6 par mélanges, modalités de broyage et années

---

## **Annexe 9 Expérimentation de capture marquage recapture de micromammifères sur l'essai microparcelle**

Une expérience de CMR (capture marquage recapture) concernant les micromammifères a été mise en place afin de pouvoir corréliser ou non la présence de ces derniers (ou d'une espèce) et la présence de certaines espèces invasives zoochores (particulièrement *Bromus sterilis*).

Pour cela, j'ai dû créer un protocole expérimental (Figure 31, page MM) donnant la démarche et les consignes à suivre et une fiche d'enregistrement (Figure 32, page NN ; seule la première page est montrée, les 5 autres sont identiques mis à part le mélange ou le numéro de la parcelle).

Les résultats (Figure 33, page OO) ne sont pas concluants. Les espèces capturées sont communes aux milieux cultivés de la région. Il y a plus de capture sur le mélange vert que sur le mélange fleuri. Les captures s'éloignent majoritairement de la parcelle de maïs (au Sud) et de la voie SNCF (à l'Est). Pour l'éloignement de la parcelle de maïs, il est possible que le maïs n'offre que de zones découvertes, où les prédateurs (notamment les rapaces) peuvent les apercevoir et les attraper sans difficultés. Pour la voie SNCF, il est possible que les vibrations entraînées par les passages de train gênent les micromammifères ou détruisent leurs terriers.

L'expérience ne s'étant déroulée que sur 3 jours, il aurait pu être nécessaire d'augmenter sa durée à 5 jours afin de maximiser le potentiel de capture. Le passage de nombreux promeneurs cueilleurs et surtout de leurs chiens peut entraîner une contamination olfactive des pièges et limiter leurs potentiels. Il serait intéressant de renouveler l'expérience mais sur une durée plus longue et durant une période où les vacanciers se font rares, afin d'éviter que de trop nombreux promeneurs viennent se balader à proximité ou dans l'essai.



Institut National de Recherche Agronomique  
INRA

Page 1 sur 3  
Version : 0  
Date : 07/05/15

Protocole de CMR (capture-marquage-recapture)  
pour l'essai en microparcelles concernant les bandes fleuries

PROTOCOLE  
PCMR1

Statut	Nom Prénom	Visa	Date
Rédacteur	WILLOT Pierre-Alexandre		07/05/15
Valideur			

Indice de révision	Nature de la révision	Date

## Objet

L'étude des micromammifères et plus particulièrement des rongeurs sur l'essai en microparcelles.

## Principe

Capture-marquage-recapture des micromammifères sur un espace et une durée déterminés afin d'obtenir des données de types :

- espèces présentes / absentes par modalités,
- pourcentage d'espèces présentes et de non-capture par modalités.

## Protocole

### a) Type de pièges

Deux types de pièges (non-destructeurs) sont utilisés :

- les pièges INRA,
- les ratières.

Du coton est placé au fond des pièges, afin que les rongeurs ne meurent pas durant leurs rétentions. L'appât est placé de manière à forcer l'animal à entrer dans le piège.

Les pièges sont numérotés de la manière suivante : R pour les ratières I pour les pièges INRA suivi du numéro de parcelle ( 1 à 24) et pour les pièges INRA un numéro est ajouté (1 à 4, d'Ouest en Est).

### b) Composition de l'appât

L'appât est constitué de :

- 50% de beurre d'arachide,
- 30% de flocon d'avoine,
- 20% de fruits secs.

### c) Mise en place de l'expérimentation

- Vérifier l'intégrité et le bon fonctionnement de chaque piège.
- Installer les pièges comme indiqué sur la figure 1 l'après-midi avant le premier jour de relevés.

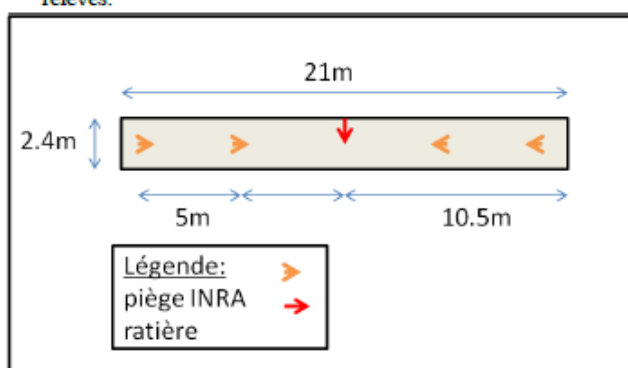




Figure 1 Position des pièges au sein d'une microparcelle

	Institut National de Recherche Agronomique INRA	Page 3 sur 3 Version : 0 Date : 07/05/15																														
	Protocole de CMR (capture-marquage-recapture) pour l'essai en microparcelles concernant les bandes fleuries	PROTOCOLE PCMR1																														
<p>La ratière se trouve en position centrale (~10.5m d'un bord), ouverture dirigée vers le centre de la parcelle. 2 pièges INRA distants de 5m sont placés de chaque côté, l'ouverture dirigée toujours vers l'intérieur. Ils sont placés à ras du sol dans le but de permettre aux micromammifères de rentrer à l'intérieur (aucune coupe des végétaux ne sera effectuée).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Placer le coton et l'appât dans chacun des pièges.</li> <li>Ouvrir les pièges.</li> </ul> <p><b>d) Durée</b></p> <p>La durée de l'expérimentation est de 3 à 5 jours.</p> <p><b>e) Relevés</b></p> <p>Les relevés se font tôt le matin avec 2 équipes de 2 personnes minimum. Les personnes chargées d'ouvrir les pièges et de relever les animaux doivent impérativement porter des gants capables de résister aux morsures qui peuvent subvenir.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Les observations s'inscrivent sur l'enregistrement ECMR1.</li> <li>Les micromammifères capturés, identifiés puis marqués avec un colorant inoffensif puis relâcher.</li> <li>Les pièges sont fermés pour la journée pendant les relevés.</li> <li>Les pièges sont ouverts en fin d'après-midi afin de permettre la capture des micromammifères.</li> <li>Des appâts sont remis s'ils sont manquants dans certains pièges.</li> </ul> <p><b>f) Date</b></p> <p>La date fixée par l'expérimentation doit se faire en dehors des périodes de fauche (soit entre juillet et septembre/novembre).</p> <p>Si une date est fixée et les relevés se font de manière annuel, la date du relevé précédent sera utilisée pour effectués celui de l'année en cours afin de ne pas biaiser les résultats.</p> <p><b>Résultats</b></p> <p>Les résultats observés et enregistrés (ECMR1) sont rentrés dans un tableau de cette forme :</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Mélange</th> <th>Broyage</th> <th>N° parcelle</th> <th>N° piège</th> <th>Espèce 1</th> <th>Espèce 2</th> <th>...</th> <th>Espèce N</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> <p>Les résultats sont de la forme présence / absence et en pourcentage de l'espèce.</p>			Date	Mélange	Broyage	N° parcelle	N° piège	Espèce 1	Espèce 2	...	Espèce N	Total																				
Date	Mélange	Broyage	N° parcelle	N° piège	Espèce 1	Espèce 2	...	Espèce N	Total																							

**Figure 31 Protocole de CMR sur l'essai microparcelle**

	INRA Institut National de Recherche Agronomique	Version 0 04/06/2015
	Fiche de relevé faunistique de l'essai micro-placette ( micromammifères )	Enregistrement ECMR1

Observateurs : \_\_\_\_\_

Date : \_\_\_\_\_

Heure : \_\_\_\_\_

Mélange : vert

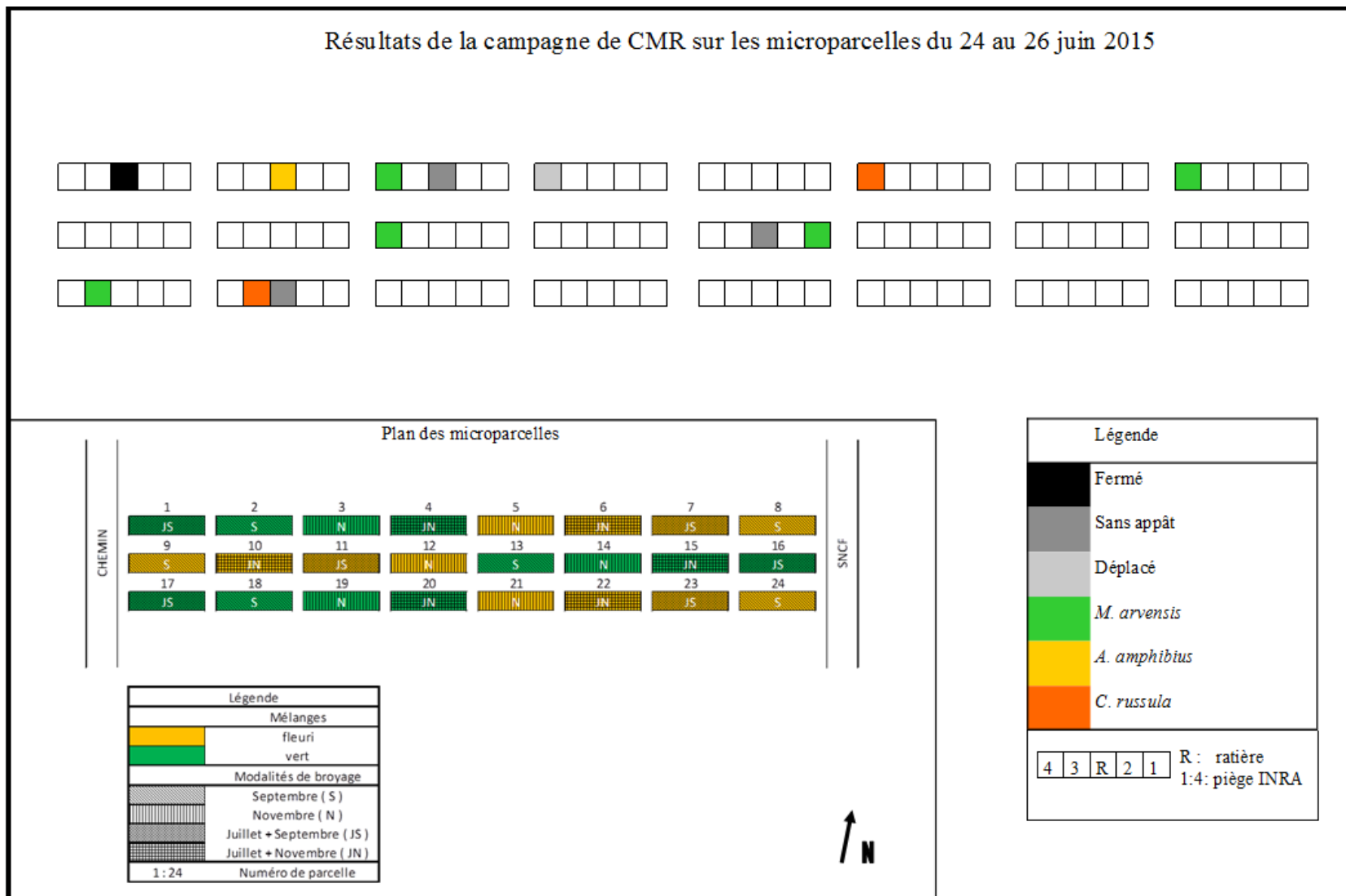
Parcelle 1				
Piège	Prés / Abs	Espèce	Taille (cm)	Observations
INRA1				
INRA2				
INRA3				
INRA4				
Ratière				

Parcelle 2				
Piège	Prés / Abs	Espèce	Taille (cm)	Observations
INRA1				
INRA2				
INRA3				
INRA4				
Ratière				

Parcelle 3				
Piège	Prés / Abs	Espèce	Taille (cm)	Observations
INRA1				
INRA2				
INRA3				
INRA4				
Ratière				

Parcelle 4				
Piège	Prés / Abs	Espèce	Taille (cm)	Observations
INRA1				
INRA2				
INRA3				
INRA4				
Ratière				

**Figure 32 Première page de la fiche d'enregistrement de l'expérience de CMR sur l'essai microparcelles**



**Figure 33 Résultats de la campagne de CMR sur l'essai microparcelles**



## Annexe 10 Comparaison avec les expérimentations semblables

**Tableau 7 Principales caractéristiques de trois expérimentations testant l'effet de modalités de gestion de bandes fleuries sur l'évolution de la diversité floristique.**

	Marshall et Nowakowski, 1994	Feber et al., 1996, Smith et al., 1999	De Cauwer et al., 2005
Région/pays	Oxfordshire, UK	Ferme université Oxford, UK	Flandres Belgique
Nombre sites	1	1	2
Dispositif	10 traitements, 3 blocs,	10 traitements, 6 blocs (différentes parcelles)	Split plot (couvert *modalité de fauche /exportations* 3 blocs)
Taille parcelles élémentaires	3 * 8 m	1,5 * 50 m	10*10 m
Couvert	3 modalités : - Spontané - Graminées semées (12 espèces) - Mélange semé (graminées + 6 dicot annuelles + 23 pluriannuelles), proportion gram/dicot 50-50%	2 modalités - Spontané - Mélange semé: 6 « non agressives »+ 17 dicot. proportion gram/dicot 80-20%	4 modalités - Spontané - Mélange complexe 1 : 63 espèces indigènes - Mélange complexe 2 : 77 espèces indigènes et non reliée à la région - Mélange complexe 2+ajout de résidus de fauche de bord de route 1 fois/an
Modalités de gestion	10 Spontané : non traité Graminées : - herbicide seul Mélange semé : - non fauché - herbicides seul - herbicide + 6 régimes de fauches (avril, avril/mai, avril/mai/ juin, avril/mai/juin/juillet, avril/mai/juillet, avril.juin/juillet)	10 : Spontané : - non fauché - herbicide seul - 4 régimes de fauches (fauché été, exporté, fauché printemps et été exporté, fauché printemps et été laissé sur place, fauché printemps et automne exporté) Mélange semé : -4 régimes de fauches (aucun, fauché été, exporté, fauché printemps et été exporté, fauché printemps et automne exporté)	3 modalités (2 fauches juin et septembre) Fauches non exportées Exportation de la 1 <sup>ère</sup> fauche Exportation des 2 fauches
Durée de l'expérimentation	Semis en 1991, mesures en 1992 et 1993	Semis en 1987, mesures en 1989, 1990 et 1991	Semis en 2001, mesures en 2002 et 2003
Principaux résultats	Deux fauches ou plus réduisent le nombre d'annuelles et augmente la diversité, sinon domination des annuelles	Globalement la coupe d'été est défavorable par rapport à une coupe au printemps et en automne, un traitement herbicide ou une absence de fauche	Diminution de la richesse globalement en 2 ans. L'exportation ralentit la décroissance. L'ajout de résidus de fauche enrichit la richesse spécifique couvert (pas en dicot).

Source : C. Bockstaller, HDR, 2013.

# Dynamique de la flore de bandes enherbées et fleuries en fonction des pratiques de gestion

Stage effectué du 02/03/15 au 28/08/15

Année universitaire : 2014 /2015

Au Centre INRA de Colmar

## Résumé :

Plusieurs impacts négatifs sur l'environnement font suite à l'intensification des pratiques agricoles durant la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle. Ces impacts sont divers, comme les pollutions diffuses des eaux et des sols, l'érosion de la biodiversité ou la fragmentation des habitats naturels. La mise en place de bandes enherbées ou fleuries permettrait de limiter ces impacts sur les milieux agricoles.

L'équipe Agriculture Durable, du centre-INRA de Colmar, a mis en place une expérimentation en parcelles divisées, semée en 2008, pour comprendre la dynamique de la flore de ces bandes selon les modalités de gestion. Les deux facteurs expérimentés sont le mélange utilisé (vert et fleuri) et les modalités de broyages (septembre, novembre, juillet-septembre et juillet-novembre). Quels sont les effets des modalités de gestion sur la flore des bandes enherbées et fleuries ? L'hypothèse étant qu'une bonne gestion maintiendrait ou augmenterait la diversité floristique.

Trois approches distinctes ont été mises en place afin de comprendre et caractériser la dynamique de la flore des bandes entre 2009 et 2014. L'approche factorielle permet de caractériser les facteurs de l'expérimentation mise en place. L'approche taxonomique, plus qualitative, permet de décrire l'évolution des taxons présents. Enfin, l'approche fonctionnelle permet de créer à partir des taxons des groupes de traits fonctionnels et caractériser leurs évolutions.

Les grands facteurs influant la flore sont le mélange utilisé, la modalité de broyage appliquée et le climat. D'autres facteurs participent à cette dynamique, tels que l'outil utilisé pour le broyage, le sol, l'environnement direct des parcelles.

La prise de données sur 10 ans permettrait de mieux comprendre la dynamique de la flore et de construire d'un modèle mécaniste. Ce modèle pourrait être utilisé dans le cadre de la consolidation d'un indicateur agri-environnementale concernant la biodiversité en bords de parcelles dans les grandes cultures.

Mots clefs : dynamique de la flore, richesse spécifique, biodiversité, bande fleurie, bande enherbée, pratique de gestion, microparcelle, agroécologie, agriculture durable.

## Etudiant :

Pierre-Alexandre Willot  
Master 2 VTPA  
UFR FMA Colmar (UHA)

## Encadrant :

Dr. Christian Bockstaller  
Ingénieur de recherche  
INRA-Centre Colmar

## Tutrice UHA :

Dr. Isabelle Soustre-Gacougnolle  
Enseignante à l'UFR FMA (Colmar)  
Université de Haute-Alsace