

Evaluation du stock semencier de bandes fleuries semi-naturelles en fonction des pratiques de gestion



Encadrants INRA : Chantal RABOLIN & Christophe SCHNEIDER



Institut National de Recherche Agronomique

LAE - Agriculture Durable

Colmar (68)

Remerciements

Seize semaines... c'est le temps passé à l'INRA au sein de l'équipe agriculture durable en compagnie de multiples personnes passionnantes et sympathiques.

Je remercie pour commencer, Chantal Rabolin qui m'a encadré avec pédagogie durant tout le stage. Sa gentillesse, sa disponibilité et son écoute sont sources du bon déroulement du stage. En toute continuité, merci à Christophe Schneider qui était tout autant disponible, sympathique et faisait part de son humour. Merci de votre accompagnement lors de l'élaboration du rapport, et de votre partage des connaissances botaniques.

Par la suite, je remercie Christian Bockstaller de m'avoir accueilli, et les autres membres de l'équipe d'avoir conversé par moment de façon sympathique : Olivier Thérond, Julie Wohlfahrt, Anne Poutaraud, Marie Thiollet-Scholtus, Aimé Blatz, Rémi Koller... ainsi qu'à Nathalie Carnovale pour tout ce qui traite de l'administration.

La mise en place de l'étude du stage ayant été faite avant mon arrivée par Pierre-Alexandre Willot, je le remercie d'avoir répondu à toutes mes questions lors de la première semaine et de m'avoir transmis tout ce qui était disponible concernant la mission.

A Lucie, Julie et Zakaria, merci beaucoup d'avoir partagé le bureau dans une bonne ambiance travail pleine de rires, d'entraide, et de m'avoir accueilli avec sympathie.

Pour finir, merci à Paul Schellenbaum de m'avoir consacré du temps de suivi pendant le stage et m'avoir suggéré des idées de forme du rapport pour l'améliorer.

Lexique

Les mots en gras, italiques et soulignés sont définis dans ce lexique

Agro-écologie : « L'agro-écologie est une façon de concevoir des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes. Elle les amplifie tout en visant à diminuer les pressions sur l'environnement (ex : réduire les émissions de gaz à effet de serre, limiter le recours aux produits phytosanitaires) et à préserver les ressources naturelles. Il s'agit d'utiliser au maximum la nature comme facteur de production en maintenant ses capacités de renouvellement. » (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2016)

Agro-écosystème : « Ensemble constitué d'un ou plusieurs agrosystèmes et d'un ou plusieurs écosystèmes juxtaposés et en interaction les uns avec les autres. » (Larousse, 2016)

Agro-système : « Un agrosystème est un écosystème créé par l'exercice de l'agriculture (cultures, élevage, échanges de produits, ...). Un agrosystème est donc contrôlé en permanence par l'homme. Ce sont des écosystèmes totalement artificiels où le temps de renouvellement de la biomasse est extrêmement court. » (Dictionnaire environnement, 2016)

Anémochore : La dispersion par anémochorie correspond à la dispersion des semences grâce au vent.

Anthropique : L'anthropisation est la transformation de milieux naturels sous l'action de l'homme.

Biodiversité : « La biodiversité, contraction de biologique et de diversité, représente la diversité des êtres vivants et des écosystèmes : la faune, la flore, les bactéries, les milieux mais aussi les races, les gènes et les variétés domestiques. [...] Mais la biodiversité va au-delà de la variété du vivant ! Cette notion intègre les interactions qui existent entre les différents organismes précités, tout comme les interactions entre ces organismes et leurs milieux de vie. D'où sa complexité et sa richesse. » (Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2016)

Ecosystème : « Système formé par un environnement (biotope) et par l'ensemble des espèces (biocénose) qui y vivent, s'y nourrissent et s'y reproduisent. L'écosystème représente l'unité de base de l'environnement. Il est constitué par un ensemble d'animaux, de plantes, de champignons et de micro-organismes interagissant les uns avec les autres et avec leur milieu (sol, air, climat, etc.). Une forêt, une falaise, une lande, une plage, un récif corallien, une mangrove... sont autant d'écosystèmes. Les écosystèmes ne sont pas isolés les uns des autres. L'ensemble des écosystèmes de la planète forme la biosphère. » (Larousse, 2016)

Politique agricole commune (PAC) : La PAC est une politique de l'Union Européenne visant à contribuer au développement de l'agriculture européenne par le biais d'aides financières attribuées aux exploitations, selon des critères de surface, de cheptel, et de mesures agro-environnementales.

Résilience écologique : La résilience écologique est la capacité d'un écosystème ou de ses composants, à retrouver ses propriétés initiales après avoir subi une altération.

Services écosystémiques : « Les services écosystémiques sont les services rendus par la nature qui contribuent aux activités humaines. Plusieurs études ont montré l'importance de la biodiversité et des écosystèmes en tant que capital économique ainsi que leur fragilité. » (Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2016)

Zoochore : La dispersion par zoochorie correspond à la dispersion des semences grâce à la faune.

Abréviations

LAE : Laboratoire Agronomie-Environnement

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

AD : Agriculture Durable

DUT : Diplôme Universitaire Technologique

PAC : Politique Agricole Commune

Table des matières

Introduction.....	1
I. Présentation de la structure d'accueil.....	1
1. L'INRA	1
2. L'INRA de Colmar.....	1
3. L'équipe Agriculture Durable de Colmar	2
II. Contexte	2
1. De la naissance de l'agriculture à l'agroécologie des temps modernes	2
2. L'étude des microparcelles fleuries semi-naturelles.....	4
3. Le stock semencier	5
III. Mission et principe de l'étude	6
Résultats & Discussion.....	8
I. Approche descriptive.....	8
1. Résultat.....	8
2. Discussion	9
II. Approche taxonomique.....	10
1. Résultats	10
2. Discussion	13
III. Approche fonctionnelle	14
1. Résultats	14
2. Discussion	16
Conclusion	18
Matériel et méthode	20
I. Les microparcelles	20
1. Mélanges, plan et modalités	20
2. Gestion de l'essai.....	20
II. Le stock semencier	20
1. Les carottages.....	20
2. Evaluation en serre du stock semencier : mise en place.....	21
3. Evaluation en serre du stock semencier : gestion de l'essai	22

III.	Méthode d'analyse des résultats	22
1.	Saisie des relevés.....	22
2.	Indices écologiques	22
3.	Tests statistiques	23
4.	Plan de traitement des résultats	25

Introduction

Dans le but de concrétiser en mettant en application des connaissances acquises au cours du DUT Génie Biologique option Agronomie, j'ai été amené à réaliser un stage de seize semaines à l'INRA de Colmar au pôle Agriculture Durable (LAE Nancy-Colmar). Le sujet porte sur l'évaluation du stock semencier d'une expérimentation de bandes fleuries semi-naturelles, avec comme encadrant Chantal RABOLIN et Christophe SCHEIDER.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

1. L'INRA

L'INRA est un établissement public à caractère scientifique et technologique fondé en 1946, sous double tutelle du Ministère de l'Education Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, et du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt. C'est pourquoi l'institut dédie ces recherches aux services d'enjeux de sociétés majeurs dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement, tels que le développement durable et la santé publique. En outre, au niveau européen, l'INRA majore dans la recherche agronomique, et se place au second rang dans les sciences agricoles au niveau mondial, notamment par le nombre de publications scientifiques de ses chercheurs. Avec une communauté de près de 12000 personnes, l'INRA compte 186 laboratoires et 49 unités expérimentales (INRA, 2014).

2. L'INRA de Colmar

En Alsace, la recherche agronomique s'est développée à la fin du XIX^{ème} siècle, s'initiant en 1874 à Rouffach, sous l'autorité impériale allemande, par l'installation de la première station de recherche. Suite à la reconquête victorieuse du territoire Alsacien par la France, la station de Rouffach fût intégrée à l'Institut des Recherches Agronomiques en 1918, pour devenir en 1929 le Centre de Recherches Agronomiques d'Alsace. A la création de l'INRA, soit 37 ans plus tard, un nouveau site de recherche est construit à Colmar où le Centre de Recherches Agronomiques d'Alsace s'installera et deviendra l'INRA plus tard : le Biopôle colmarien. Toutefois, une partie des laboratoires restera au centre-ville de Colmar jusqu'en 1999 (Willot P.A., 2015). Ce pôle à dominante scientifique regroupe divers organismes publics et privés autres que l'INRA, tels que certaines formations scientifiques de l'Université de Haute-Alsace, le Laboratoire Vétérinaire Départemental, l'Office National des Forêts, l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace, l'Organisation Professionnelle de l'Agriculture Biologique en Alsace et d'autres organismes.

A l'INRA de Colmar, quatre unités se partagent le centre :

- L'UMR 1131 Santé de la Vigne et Qualité du Vin (SVQV) axe ses recherches sur la vigne, allant de la phytopathologie à la vinification.
- L'UMR 1132 Laboratoire Agronomie et Environnement (LAE Nancy-Colmar) via l'équipe Agriculture Durable de Colmar. Le LAE associe une équipe de Nancy de l'ENSAIA (Université de Lorraine) travaillant sur les métabolites secondaires et l'équipe AD de Colmar (**Document 1**).
- L'unité de Service Expérimental Agronomique et Viticole (SEAV) réalise divers essais grandes cultures et viticulture, l'expérimentation phare traitant du recyclage des produits résiduels organiques en analyse longue durée.
- Le service d'appui à la recherche (SDAR) réalisant la gestion et l'administration de l'entité.

Le projet « Viticulture Durable » est la source des travaux menés sur le centre de Colmar, puisque toutes les unités de recherche présentes contribuent à son développement. « Ce projet vise à créer des

variétés de vigne résistantes et des itinéraires techniques qui manifestent une faible dépendance vis-à-vis des intrants, afin de répondre aux enjeux du Grenelle de l'Environnement de réduire de moitié la consommation de produits phytosanitaires en viticulture à l'horizon 2018 » (INRA Colmar, 2013). L'équipe Agriculture Durable a pour rôle de mesurer la biodiversité dans différents travaux de recherche expérimentale, notamment à travers différents indicateurs d'évaluation environnementale.

3. L'équipe Agriculture Durable de Colmar

Les principales missions de l'équipe AD de Colmar sont orientées sur l'évaluation environnementale grâce aux indicateurs agri-environnementaux (INDIGO®, PhytoChoix®) développés par l'équipe. « Ces travaux ont débuté en 1993 à l'initiative de P. Girardin, en collaboration avec l'Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA), et ont été pionniers dans le domaine de l'évaluation agri-environnementale à l'aide d'indicateurs ». Ces indicateurs permettent d'orienter les utilisateurs (notamment les agriculteurs) à gérer leur exploitation de manière plus durable en évaluant l'impact des pratiques culturales sur la qualité de l'environnement (air, eau, sol, biodiversité, paysage, énergie). Sept agents permanents constituent l'équipe, consolidée chaque année par multiples stagiaires ou doctorants (INRA LAE Nancy-Colmar, université de Lorraine, 2016) (**Document 2**).

En outre, depuis 2008, l'équipe AD de Colmar s'oriente vers la thématique « biodiversité ». L'étude de bandes enherbées semi-naturelles en agrosystèmes permet d'évaluer des effets des pratiques agricoles sur la diversité biologique du milieu. C'est pourquoi deux essais ont été développés sur le parcellaire du domaine de Colmar. L'un des essais est financé par une ANR qui est nommée ADVHERB, dans laquelle l'équipe AD coopère avec l'INRA de Dijon, l'INRA de Versailles et une équipe du CNRS de Chizé (79) et quelques autres partenaires. Cet essai évalue notamment la dynamique floristique de deux mélanges testés sur des bandes entre parcelles cultivées. L'autre essai consiste à évaluer la dynamique floristique de deux mélanges soumis à différentes modalités de broyage, sous forme de microparcelles fleuries sur une bande enherbée. C'est sur ce thème que ce présent rapport est développé.

II. CONTEXTE

1. De la naissance de l'agriculture à l'agroécologie des temps modernes

L'agriculture est née il y a près de 10000 ans, dans le croissant fertile du Moyen-Orient, lorsque les premières semences ont été domestiquées pour être cultivées. Dès lors, une agriculture vivrière subviendra à l'Homme chasseur-cueilleur. De par l'évolution des besoins et du mode de vie de la population humaine, l'agriculture deviendra de plus en plus productiviste pour y être négociée sur un marché. Toutefois, jusque le début des années 1940, l'agriculture était paysanne.

A la suite de la seconde guerre mondiale, la France est en pénurie alimentaire et doit répondre à la demande massive de sa population. C'est pourquoi contextuellement, le mode de production agricole intensif s'est développé. Ceci eu pour conséquence la modernisation des exploitations avec le développement de machines réduisant la pénibilité du travail du sol, notamment en travaillant de plus grandes surfaces en peu de temps. En outre, les industries agrochimiques ont démocratisé l'utilisation de leurs produits de synthèse (Cordeau S., 2010). Les engrais chimiques comblent l'exportation massive de matière organique. Les produits phytosanitaires permettent de lutter contre les maladies, favorisées par le système de monoculture intensive et par l'utilisation de nouvelles variétés plus productives mais moins résistantes. De cette « révolution agricole » naissent des conséquences économiques, sociales et environnementales.

Economiquement, le système d'agriculture intensive, soutenu par l'instauration de la Politique Agricole Commune, permet d'atteindre une autosuffisance alimentaire avec des excédents exportés, à la fin

des années 1970 (Cordeau S., 2010). Socialement, ce mode de production a notamment contribué à la diminution du nombre d'exploitation et à l'agrandissement de celles-ci. La production intensive a permis la réduction des prix des denrées alimentaires rendant leur facilité d'achat auprès foyers. Le levier environnemental soulève aujourd'hui de multiples enjeux portant atteinte à la durabilité de l'agriculture.

Outre de produire des denrées alimentaires, l'agriculture a pour second but l'entretien des paysages et des écosystèmes exploités, appelés **agrosystèmes**. Cependant, le développement de l'agriculture intensive a contribué à la simplification des paysages cadrés, devenant des paysages dits d'*openfield* (champs ouvert) (Willot P.A., 2015). Ceci entraîna une perte de **biodiversité** (correspondant notamment à la diversité des êtres vivants) des agrosystèmes due à la suppression corridors écologiques, soit une homogénéisation générale (Hauteclair P., 2010). Cette perte de diversité biologique porte atteinte aux **services écosystémiques**, tels que la pollinisation, la prédation, etc. (Tscharntke T. *et al.*, 2005). La diversité biologique des écosystèmes permet leur stabilité ; la faune est dépendante de la flore, ceci de façon réciproque. En effet, les systèmes écologiques renferment des chaînes trophiques, où il existe des facteurs limitant à certaines espèces. Les micromammifères, les pollinisateurs, les auxiliaires de cultures, les oiseaux à travers les criquets, sont d'autant d'espèces dépendantes de la flore. (Ricou C., 2014)

Les problèmes d'érosions, les coulées de boues, les pollutions des nappes phréatiques et des cours d'eau par les produits phytosanitaires et les engrais azotés, la pollution de l'air par les produits phytosanitaires, la perte du potentiel agronomique des sols, sont entre-autre des externalités néfastes de l'agriculture à l'environnement (**Document 3**). (Barriuso E. *et al.*, 2008 ; Schiavon *et al.*, 1995 ; Bedos *et al.*, 2002)

Ces conséquences portant atteinte à la durabilité de l'agriculture nourricière, de nombreuses actions sont développées pour y remédier : conférences mondiales regroupant la communauté scientifique et politique (notamment Rio en 1992 définissant le terme de « biodiversité », COP21 de Paris en 2015), Politique Agricole Commune dans l'Union Européenne, recherche agronomique basée sur la durabilité de l'agriculture productiviste, etc.

Avec ces diverses réformes, la **Politique Agricole Commune** (PAC) a permis de redévelopper la fonction secondaire d'un agriculteur qui n'est que simplement la gestion des éléments paysagers. Par volontarisme ou contractualisation (représentant un engagement de l'agriculteur pour des droits de subvention), les zones à haute valeur environnementale appelées également surfaces d'intérêt écologique (bandes enherbées, haies, prairies permanentes, jachères et intercultures) se sont vues relier les habitats sous forme de corridor écologique en fragmentant les espaces de monoculture (Hauteclair P., 2010).

Actuellement, le terme « **agro-écologie** » avec son vaste champ lexical, répond au mieux aux problématiques d'une agriculture durable en proposant des solutions durables que l'agriculture conventionnelle ne présente pas (Dufumier M., 2010). L'agro-écologie conçoit de favoriser l'écologie au sein des agrosystèmes, notamment les interactions trophiques, afin de maximiser les services écosystémiques et minimiser les impacts de l'activité de l'Homme. Depuis une dizaine d'année, des financements ont été débloqués pour soutenir la recherche et le développement dans ce domaine qui a pour but de redynamiser biologiquement les agrosystèmes, devenant des **agroécosystèmes**.

Les bandes enherbées, ou fleuries, sont l'une des solutions intégrées à la pratique de l'agriculture écologique (**Document 3**). En effet, elles permettent la filtration des polluants d'origine agricole présents dans l'eau, (Allaire SE., 2015 ; Duchemin *et al.*, 2002 ; Hauteclair P., 2010) et favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol, celui-ci étant plus poreux (Vallières D., 2005), vers les nappes phréatiques et les cours d'eau. De plus, elles servent de foyer à une diversité biologique ; cette diversité, synonyme d'hétérogénéité, est un outil de stabilité écologique grâce aux interactions entre espèces (Benton TG. *et al.*, 2003). En outre, les bandes enherbées

limitent la dispersion des plantes adventices aux cultures, et la propagation de certaines maladies. Les auxiliaires de cultures y trouvent refuge et contribuent à la lutte contre les ravageurs et à la pollinisation. L'aspect de conservation patrimoniale est d'autant plus important dans un contexte de croissance des zones urbanisées et de monoculture intensive. Les bandes fleuries servent de refuge à une population d'espèces dépendantes des zones semi-naturelles.

Les études sur les bandes enherbées ne manquent pas. Toutefois, pour la plus grande majorité d'entre-elles, la stratégie se localise en bordure de parcelle ou le long des cours d'eau (Cordeau S., 2010 ; Gaujour E., 2010). De plus, une étude a montré qu'un rapport entre zone semi-naturelles et zones exploitées permet de réduire les impacts de l'anthropisation des écosystèmes, celui-ci au seuil de 20% (Tschardt et al., 2005). C'est pourquoi l'équipe AD de Colmar réalise une étude de la dynamique floristique de microparcelles fleuries semi-naturelles de plein champ.

2. L'étude des microparcelles fleuries semi-naturelles

En 2008, l'équipe AD de l'INRA Colmar a mis en place une expérimentation de gestion des bandes fleuries en grande culture (**Document 4**), l'objectif étant d'apporter de nouvelles informations sur l'évolution de ces bandes semi-naturelles, en fonction des modalités de gestion et du temps. De par sa durée de suivi (10 ans) et de sa stratégie de localisation (de plein champ), cette étude peut être pertinente (les seules études longues (10 ans) ont été menées par Bokenstrand *et al.* (2004) et Smith *et al.* (2010)). Un relevé du stock semencier a été réalisé à la mise en place en 2008.

Les mélanges « vert » et « fleuri » testés ont donc été semés en 2008. Celui « fleuri », semé sur douze microparcelles, est principalement composé de plantes à fort potentiel pollinifère et nectarifère (**Document 4**). Ce mélange permet ainsi de favoriser la diversité biologique florale attirant les auxiliaires culturaux, et de prépondérer sur l'aspect de conservation patrimoniale. Ce type de mélange tolère l'oligotrophie (Hauteclair P, 2010). Ce caractère n'est pas important pour les sols de Colmar plutôt eutrophes, mais est intéressant pour l'ubiquité potentielle future de ce genre de bandes enherbées. Le mélange « vert », semé sur douze microparcelles de même, se compose de fabacées et de poacées, et est homologué par la PAC. C'est pourquoi leur implantation chez les agricultures fait office d'un droit de subvention de l'Etat dans des conditions réglementées. Le rôle complémentaire des fabacées et poacées permettent à la fois d'enrichir le sol en matière organique azotée, et de couvrir rapidement ce dernier afin de limiter l'érosion et la colonisation de la place par divers adventices (Willot P.A., 2015).

De plus, quatre modalités de broyage sont testées, en fonction de la période de passage et de la fréquence (septembre, novembre, juillet-septembre, juillet-novembre) (**Document 4**). Le broyage se différencie de la fauche par la forme du produit résiduel. La non-exportation des résidus de broyage permet de conserver les semences des espèces annuelles. De plus, le broyage est choisi par rapport à une fauche pour le contexte géographique ; l'Alsace regroupant majoritairement des céréaliers, les broyeurs sont plus fréquents dans les exploitations que les faucheuses. Le broyage est testé selon les différentes modalités, pour en évaluer les conséquences sur la richesse floristique, et déterminer ainsi la modalité de broyage la plus adaptée et performer le conseil futur aux agriculteurs.

Dans chaque microparcelle, des relevés floristiques sont réalisés quatre fois par an sous type de [présence/absence] et de taux de recouvrement (**Document 4**).

En 2015, une étude globale a été menée par Pierre-Alexandre WILLOT, stagiaire master dans l'équipe AD, sur la dynamique de la flore des bandes fleuries en fonction des modalités de gestion qui ont été menées sur 6 ans (**Document 4**). Cela eu pour objectif de montrer l'évolution de la richesse spécifique (diversité), des

taxons et des fonctions écologiques des communautés végétales selon les modalités de gestion et de mélange, l'hypothèse étant qu'une bonne gestion augmente la diversité biologique de la bande.

Actuellement, les relevés floristiques des microparcelles montrent une disparité avec les mélanges initialement semés ; la flore spontanée (flore présente non semée) domine la flore semée (Willot P.A., 2015). C'est pourquoi une évaluation du stock semencier de celles-ci permettra de voir leur potentiel floristique.

3. Le stock semencier

Le stock semencier, ou banque de graine d'un sol constitue l'ensemble des graines dormantes et non germées présentes dans ce même sol (**Document 5**). Le stock semencier d'un sol présente une valeur patrimoniale importante pour la ***résilience écologique***, à travers la régénération naturelle des peuplements végétaux (face aux perturbations naturelles ou artificielles) ou dans la réapparition spontanée de certaines espèces (Delescaille L.M. et al., 2006). Les banques de semences ont donc un intérêt prépondérant dans l'entretien et l'évolution de la biodiversité des écosystèmes naturels ou artificiels, lors du phénomène de succession écologique.

L'abondance et la dynamique du stock semencier sont multifactorielles (type de sol, pression anthropique, conditions climatiques, etc.) (**Document 5**). Les conditions édaphiques ont un effet significatif sur l'écologie et le potentiel germinatif du stock semencier (Benvenuti S., 2003). C'est dans les sols très perturbés que la similitude entre le stock semencier et la composition floristique du milieu est la plus élevée (Iowa State University, 1997). En effet, la germination est favorisée et la plupart des espèces sont favorisées également. La prédation des graines par les carabes et autres insectes, oiseaux, ou autres micromammifères, altère l'abondance de la banque du sol. La diminution du nombre de pollinisateurs limite la production de graines. Les relations de compétition interspécifique peuvent aussi nuire à l'épanouissement des fleurs, ou encore à la pousse de nouvelles graines, engendrant une réduction du potentiel de production semencière (Iowa State University, 1997).

Le stock semencier d'un sol est alimenté par la pluie de graine, provenant elle-même de plantes implantées sur le site, ou de plantes environnantes à dispersion ***zoochore*** ou ***anémochore***. Il se différencie en deux catégories : la banque de graine transitoire et la banque de graine persistante. La première regroupe des graines germant rapidement (dans l'année), l'autre est constituée de graines dormantes.

La germination des graines est une perte de stock semencier, notamment si l'anthropisation perturbe le cycle végétatif en inhibant la production de graines. Le stock semencier d'une culture est plus rapidement réduit puisque la perturbation favorise la germination des graines, et le cycle végétatif des plantes adventives n'est pas porté à terme.

Le potentiel floristique d'un sol peut être évalué de par l'estimation de sa banque de graine, qui elle, dépend de la reproduction sexuée. Ce type de reproduction permet de croître le patrimoine génétique des espèces. Toutefois, ce potentiel dépend également de la multiplication végétative. Ainsi, les bulbes, rhizomes, racines, tubercules, stolons et propagules sont sources de capacité floristique (***soil bud bank***). Cependant, ceux-ci ne diversifient pas le patrimoine génétique intraspécifique (Iowa State University, 1997).

Le stock semencier d'un sol peut se faire selon deux analyses différentes communément utilisées lors d'études scientifiques, après avoir prélevé des échantillons de sol : la germination des graines potentiellement présentes dans l'échantillon, ou la séparation des graines du substrat du sol (**Document 6**). Cette dernière consiste à séparer les graines par flottement, par lavage et tamisage ou par les deux. Cette méthode permet l'obtention de graines présentes dans le sol, entraînant sûrement des pertes, notamment en tamisant. La seconde méthode consiste à faire germer les graines pour et identifier les plantules émergentes (Bakker J.P

et *al.*, 1996). Les échantillons de sol prélevés sont placés dans une atmosphère en conditions contrôlées. Ces plantules reflètent le potentiel floristique du sol, en mettant en avant uniquement les semences viables (Gaujour E., 2010). Les espèces contribuant à l'évolution de la flore proviennent soit de la végétation de surface initiale, soit de la banque de semences du sol ou de la pluie de graines (Jensen K., 1998).

III. MISSION ET PRINCIPE DE L'ETUDE

L'évaluation du stock semencier des microparcelles réparties sur une bande enherbée du parcellaire de l'INRA de Colmar, présente un aspect du potentiel floristique de la végétation de ces microparcelles. Sur une bande de plein champ est implantée une expérimentation de longue durée, analysant les impacts sur la biodiversité des pratiques agricoles définies, notamment sur la diversité floristique. Actuellement, les relevés floristiques des microparcelles montrent une disparité avec les mélanges initialement semés ; la flore spontanée domine la flore semée (Willot P.A., 2015). L'évaluation de la banque de graine du sol de chaque microparcelle découle des études antérieurement réalisées sur l'évolution de la flore selon des modalités de gestion.

Cette étude présente l'intérêt de suivre l'évolution de la flore pour conseiller aux agriculteurs l'implantation de bandes fleuries. Toutefois, les arguments avancés doivent être durables dans le temps, notamment sur la diversité floristique.

Ainsi, deux questions majeures se posent dans cette étude :

Comment évolue le stock semencier de bandes enherbées et fleuries semi-naturelles selon les modalités définies ?

Le stock semencier reflète-t-il la composition floristique de la végétation présente ? Est-ce que la flore des mélanges semés s'est intégrée à la banque de graine du sol ?

Le stock semencier des microparcelles illustre le potentiel floristique de celles-ci. L'évolution notable de la flore relevée dans chaque microparcelle a amené l'étude du stock semencier, puisque des espèces non présentes dans les mélanges semés sont apparues et colonisent le milieu.

A partir de l'étude du stock semencier, on peut voir l'impact des différentes modalités de broyage sur la pérennité de la flore présente, voir la proportion de semences d'espèces spontanées par rapport aux espèces semées et estimer ainsi l'évolution de la flore si le sol, qui est initialement un champ cultivé, venait à être perturbé. Ma mission est donc d'identifier et inventorier les plantules émergentes illustrant le stock semencier. Il s'ensuit d'une analyse statistique pour avancer des éléments de recherche pertinents dans le sens de l'expérimentation en cours ; il est très intéressant de mettre en relation cette étude avec ce qui a déjà été étudié.

La banque de semence du sol est analysée par prélèvements de carottes dans le sol à la sortie de l'hiver (afin d'avoir une banque de graine complète) (**Document 7**). Ces carottes sont installées en serre, avec trois carottages par microparcelle et selon deux horizons. Les trois répétitions permettent d'homogénéiser les résultats afin d'être représentatif. Les deux horizons (0-5 cm et 5-20 cm) permettent d'appliquer une modalité de comparaison. En effet, la majorité des graines dans les milieux non labourés se situent dans la partie supérieure du profil de sol (entre 0 et 2cm), avec la quasi-totalité de la banque de graine localisé dans les dix premiers centimètres (Iowa State University, 1997 ; Smith R.S. et *al.*, 2002). Les plantules émergentes sont identifiées et comptabilisées puis répertoriées dans un fichier informatique Excel.

Lorsqu'aucune plantule n'est observable pendant deux semaines dans l'ensemble des barquettes, un traitement à l'acide gibbérellique est appliqué pour optimiser l'évaluation du stock semencier (**Document 7**).

Pour la plus grande majorité des graines, leur germination a lieu à la suite d'une période de vernalisation. Dans certains cas, les semences sont dormantes et ont besoin de stimuli externes pour lever cette dormance (Raven P.H, Evert R.F, Eichhorn S.E, 2000). Le développement germinatif est initié par des phytohormones appelées gibbérellines. En outre, la synthèse et la réactivité aux hormones sont influencées par des facteurs naturels environnementaux tels que la lumière, la température et la richesse en éléments nutritifs (notamment en nitrates) du sol (Hilhorst H.W.M., Karssen C.M., 1992).

Deux perturbations de sol sont réalisées lorsque le nombre général de levées faiblit. Des études ont montré que la perturbation du sol favorise la germination d'une grande majorité de graines composant le stock semencier (Milberg P., 1993 ; Gaujour E., 2010).

A partir des données relevées, correspondantes à l'identification et la comptabilisation des individus, des analyses statistiques sont appliquées. Pour ces analyses, j'utilise des indices écologiques, tels que la richesse spécifique pour comparer une diversité taxonomique, et l'indice réciproque de Simpson afin d'ajouter l'aspect quantitatif à l'aspect qualitatif, ce que ne permet pas la richesse spécifique. Une autre perspective consiste à former des groupes d'espèces (désirables/indésirables) et de réaliser des tests statistiques en fonction de ces groupes. Après des graphiques d'analyses statistiques descriptives, les tests statistiques utilisés sont des tests d'analyse de variance, paramétriques ou non selon la normalité des données (ANOVA, test de Kruskal-Wallis). Ces analyses ont pour but de montrer l'influence des gestions sur le stock semencier qui illustre le potentiel floristique des parcelles, et qui constitue le patrimoine semencier du sol pour la résilience écologique. (**Document 8**)

Résultats & Discussion

I. APPROCHE DESCRIPTIVE

1. Résultat

a. Taxons représentés au sein du stock semencier

Les espèces relevées lors de l'évaluation du stock semencier sont listées dans le **Document 9**. Ce portrait du stock semencier composé de 24 taxons, révèle la présence d'une espèce dominante à 40%, qu'est *Amaranthus retroflexus*. Pour le double, soit 80%, l'abondance du stock semencier se compose de quatre espèces (dans l'ordre d'abondance : *Amaranthus retroflexus* L., *Mercurialis annua* L., *Chenopodium album* L., *Festuca rubra* L.), dont trois espèces indésirables correspondant aux trois espèces les plus abondantes. De plus, 11 espèces apparaissent moins de cinq fois, dont 5 espèces qui n'apparaissent qu'une seule fois (*Sonchus oleraceus* L., *Trifolium repens* L., *Bromus hordeaceus* L., *Rumex acetosa* L., *Epilobium cillatum* Raf.).

L'abondance de *Amaranthus retroflexus* au sein du stock semencier est globalement dominante dans chaque microparcelle, avec un minimum à moins de 10% pour une parcelle « mélange vert, broyage JN », et un maximum à 80% pour une parcelle « mélange fleuri, broyage JN ». *Festuca rubra* reste principalement abondante dans les parcelles « mélange vert ». On remarque que les parcelles « mélange fleuri » ayant une proportion notable de *Festuca rubra* sont des parcelles adjacentes aux parcelles « mélange vert » (**Document 10**). Cette espèce se situant en deuxième position au niveau abondance dans le stock semencier des parcelles ensemencées en mélange vert, s'est bien implantée de ce fait, en plus de s'être implanté également dans le stock semencier des parcelles ensemencées avec le mélange fleuri (en quatrième position), ce dernier ne comportait pas de *Festuca rubra*. Deux espèces ont été relevées en plus dans le stock semencier « fleuri » par rapport au « vert ». L'abondance du « fleuri » est toutefois plus faible que le « vert ». Deux espèces ont été relevées dans le stock semencier « vert » (*Lactuca serriola*, *Vitis* sp.) et non dans le « fleuri », et de façon réciproque pour quatre autres espèces (*Sinapis alba*, *Bromus hordeaceus*, *Rumex acetosa*, *Sonchus oleraceus*). Seulement cinq espèces des mélanges semés sont retrouvées dans la banque de graine du sol, de façon non abondante (à l'exception de *Festuca rubra*). D'une vision globale, les espèces dominantes sont identiques pour chaque gestion. (**Document 11**)

La proportion de l'ensemble des espèces restantes est minime si l'on rapporte cette proportion au nombre d'espèces (20% d'abondance pour 19 espèces). La présence en quatrième position de *Bromus sterilis* n'est pas en reste puisque cette espèce jugée invasive selon le conservatoire botanique d'Alsace, est apparu dans la végétation des microparcelles depuis 2014 d'une façon envahissante.

b. Comparaison stock semencier 2016, végétation 2009-2015 et stock semencier moyen 2008

Sur le total de vingt-quatre espèces inventoriées dans le stock semencier 2016, deux espèces sont absentes de la végétation (*Vitis vinifera* et *Epilobium ciliatum*). Ces deux espèces qui sont également présentes dans le stock semencier moyen de 2008 sont toutefois très peu abondantes puisque *Vitis vinifera* n'est apparu qu'à deux reprises en 2016, et de moitié pour *Epilobium ciliatum*.

Le **Document 12** présente les espèces du stock semencier moyen de 2008, en soulignant les espèces communes aux deux stocks semenciers, soit un total de dix espèces. Ces espèces étaient donc présentes dans la banque de graine du sol en 2008 et le sont toujours en 2016. Il est noté en complément que ces taxons se

sont exprimés dans la végétation des microparcelles au moins une fois entre 2009 et 2015, à l'exception des deux espèces précédemment abordées (*Vitis vinifera* et *Epilobium ciliatum*).

Quinze espèces avaient été semées dans le mélange fleuri, huit l'avaient été dans le mélange vert, avec un taxon commun, soit un total de vingt-deux espèces. Seulement cinq de ces vingt-deux espèces sont présentes dans le relevé du stock semencier 2016, sachant qu'une espèce, qu'est *Medicago lupulina* (luzerne lupuline), était déjà présente dans le stock semencier moyen en 2008.

Un point notable, cinquante espèces sont présentes dans la végétation, et absentes du stock semencier 2008 et des mélanges semés. Cela permet de mettre en avant les espèces spontanées issues de la pluie de graine (dispersion par anémochorie ou barochorie) ou de la dispersion par zoochorie. Ces espèces peuvent avoir pour certaines d'entre elles un potentiel pollinisateur. Dans le même esprit, trente-huit espèces composent la végétation des microparcelles mais sont absentes des deux stocks semenciers et des mélanges semés. Ce chiffre apporte une information chiffrée quant aux espèces spontanées « nouvelles » qui ne sont pas implantées au niveau séminal. Ainsi, seulement douze espèces spontanées « nouvelles » se sont implantées dans la banque de graine du sol.

Pour finir, 110 espèces étaient présentes dans la végétation entre 2009 et 2015. Seulement 24 espèces ont été inventoriées dans l'évaluation du stock semencier 2016. Ainsi, seulement 26% des espèces potentiellement présentes ont été relevées, sachant que deux taxons ont été relevés dans le stock semencier et sont absents de la végétation au cours des six années de relevés. Donc seulement 24% des espèces de la végétation ont été relevées dans le stock semencier, sachant que les plus abondantes ne sont pas les plus abondantes dans la végétation. En effet, *Amaranthus retroflexus* L. est de loin l'espèce dominante dans le stock semencier 2016 alors qu'elle n'est apparue qu'à deux reprises (2010 et 2012) dans une microparcelle.

2. Discussion

Le stock semencier évalué en 2016 ne reflète que peu la composition de la végétation relevée entre 2009 et 2015. Ce résultat est confirmé dans la littérature. En effet, d'une manière générale, la banque de graine du sol ne reflète que partiellement la composition de la végétation exprimée, notamment dans les formations prairiales d'Europe occidentale (Armiand B., Touzard B., 2004 ; Edwards G. R., Crawley M. J., 1999 ; Gaujour E., 2010 ; López-Mariño A. et al., 2000 ; Milberg P., 1993 ; Poschlod et al., 1991 - Leck et al., 1993 - Poschlod et Jackel, 1993 - Willems, 1995 - Dutoit et Alard, 1995 - Bakker et al., 1996 - Kalamees et Zobel, 1997 - Davis et Waite, 1998 ; Smith R.S. et al., 2002). On peut associer la formation prairiale à un milieu peu perturbé au niveau du sol (pas de labour ou de labour superficiel), ce qui est le cas des microparcelles depuis la mise en place en 2009.

La présence de *Amaranthus retroflexus* d'une manière abondante est surprenante puisque cette espèce a tendu vers l'absence totale durant les six années de relevés floristique. Seulement en 2012 et en 2014, l'espèce est apparue dans une microparcelle. Toutefois, il a été rapporté qu'elle avait été abondante lors du faux-semi réalisé avant la mise en place de l'expérimentation. Depuis, l'espèce est absente de la végétation. Dans le stock semencier moyen du domaine cultural de l'INRA de Colmar évalué en 2008 avant la mise en place de l'essai, *Amaranthus retroflexus* avait une abondance totale de 11%, en quatrième position des espèces les plus abondantes. Cela montre que ce taxon était déjà considérablement présent. On ne peut pas affirmer que le stock semencier de cette espèce a augmenté en abondance (que ce soit en abondance réelle ou en abondance proportionnelle), le stock semencier de 2008 étant moyen (géographiquement plus étendu). Toutefois, l'abondance de cette espèce n'a pas significativement diminué. Il en va de même avec les deux autres espèces les plus abondantes jugées indésirables que sont *Chenopodium album* et *Mercurialis annua*. Celles-ci étaient les deux dominantes dans le stock semencier de 2008 (respectivement 34% et 23%) et restent

dans le top 3 en 2016. Toutefois, ces espèces se sont présentées dans la végétation entre 2009 et 2015 plus significativement que *Amaranthus retroflexus*. On peut ainsi supposer à la vue de leur réduction au sein de la banque de graine du sol, que la germination de *Chenopodium album* et *Mercurialis annua* a réduit leur banque de semence et que cette dernière n'a pas été suffisamment régénérée. Ainsi *Amaranthus retroflexus* est devenue l'espèce dominante. Une hypothèse complémentaire peut être amenée pour cette dernière espèce : les bandes enherbées peuvent avoir un rôle de barrière et limiter la dispersion des semences. Ainsi, il est supposable que les semences aient été retenues par la végétation, déposées au sol mais le milieu ne favorisant pas leur germination, une accumulation s'est faite. Cela est d'autant plus probable que la gestion de novembre a le stock le plus élevé d'*Amaranthus albus*. La végétation étant haute, la barrière est plus efficace.

La différence notable d'espèces entre le stock semencier et la végétation peut provenir de la méthode d'évaluation qui s'avère être artificielle. Les conditions de germination ne sont peut-être pas optimales pour toutes les espèces. En effet, les études de stock semencier déjà réalisées faisaient varier la température entre le jour et la nuit d'une façon notable (22°C le jour contre 15°C voire 9°C). Notre étude à une température minimale de 18°C, ce qui peut ne pas être suffisant pour répondre aux besoins des graines. De plus, la terre des barquettes était parfois sèche (germination inhibée). Les conditions d'évaluation ne doivent pas être optimales à la germination de toutes les espèces, étant relativement restreintes et collectivement imposées.

Les espèces telles que *Vitis sp.* ou *Epilobium ciliatum* ont été dévoilées dans le stock semencier 2016, alors qu'elles étaient absentes totalement de la végétation. Les conditions d'évaluation semblent être favorables à ces espèces, qui étaient également présentement dans le stock semencier 2008, tandis que les conditions des microparcelles semblent inhiber leur levée.

Les bandes fleuries sont un foyer de biodiversité, avec quelques 110 espèces relevées dans la végétation entre 2009 et 2015. Une cinquantaine d'espèces présentes dans la végétation sont des espèces spontanées, non issues des mélanges semés et non présentement dans le stock semencier de 2008. Ainsi, les bandes fleuries ont permis d'apporter de nouvelles espèces potentiellement intéressantes dans une optique d'augmentation de la biodiversité pour maximiser les services écosystémiques. Toutefois, seulement cinq espèces du mélange ont été retrouvées. Cela peut provenir de l'évaluation qui peut être mal estimée, ou encore d'une implantation quasi nulle au sein du stock semencier. En effet, même dans la végétation, les espèces semées tendent à disparaître au profit d'une flore spontanée, désirable ou indésirable. Les espèces semées ne sont peut-être pas adaptées à l'environnement (présence de produits phytosanitaires aux alentours réduisant la vigueur des espèces, un manque de pollinisateurs supposé dans un contexte de zone semi-urbaine, une forte prédation des graines, etc.).

L'approche taxonomique permet de mesurer statistiquement cette diversité selon les différentes modalités appliquées.

II. APPROCHE TAXONOMIQUE

1. Résultats

L'approche taxonomique permet d'aborder un traitement statistique en utilisant la richesse spécifique et l'indice réciproque de Simpson. Ici, seules des ANOVA sont réalisées. Pour cela il faut que deux conditions soient respectées : la normalité des données et l'homoscédaticité. Si l'une de ces deux conditions n'est pas respectée, alors le test non-paramétrique alternatif envisagé est celui de Kruskal-Wallis. Le test post-ANOVA à réaliser en cas de différence significative entre les variables qualitatives est le test SNK, permettant de former des groupes. Pour critiquer l'analyse le coefficient de variation résiduel et la puissance de l'analyse peuvent-

être calculés. Le premier indique le pourcentage d'erreur expérimentale dans l'essai : plus il est faible, plus l'expérience et son analyse sont précises. La puissance de l'analyse montre la capacité de l'analyse à détecter effet significatif du facteur étudié. Plus elle est élevée, plus l'analyse est valable.

a. Richesse spécifique

Le test statistique qu'est l'ANOVA permet d'analyser la variance de variables quantitatives par rapport à des variables qualitatives. Dans ce cette partie, la **variable quantitative** est la **richesse spécifique** correspondant au nombre de taxons différents relevés. Puisque l'évaluation du stock semencier se réalise par prélèvement de sol (trois prélèvements par microparcelles avec trois répétitions par modalité « **gestion** », douze répétitions par modalité « **mélange** » et vingt-quatre répétitions par modalité « **horizon** »), alors la richesse spécifique est moyennée durant le test. Cette dernière est étudiée selon le mélange, la gestion et l'horizon.

- **Mélange**

Le tableau de données utilisé pour cette analyse reprend toutes les modalités de gestion selon les deux mélanges, sans différencier les horizons (horizon 0-20cm). Le modèle crée est [**Richesse spécifique ~ mélange + gestion**]. Avec un R2 faible de 0.1257, le modèle montre que seulement 13% de la richesse spécifique est expliquée par la gestion et le mélange. Ce modèle à deux facteurs permet de réduire l'erreur résiduelle. Après avoir vérifié les conditions qu'une ANOVA impose, le résultat de cette dernière donne une p-value de 0.4447 pour le facteur « mélange ». Ainsi, l'hypothèse H0 « il n'y a pas de différence significative de richesse spécifique entre les deux mélanges » est validée sans présomption. Le coefficient de variation résiduel du modèle s'élève à 0.36, c'est-à-dire que l'expérience et son analyse son peu précise. Pour compléter l'analyse critique, la puissance est calculée. Celle-ci est égale à 0.999 pour le facteur « mélange » ce qui signifie que le résultat de l'ANOVA est valable. (**Document 13**)

- **Gestion**

La « gestion » est sans doute le facteur analysé le plus intéressant puisqu'il est le facteur d'action anthropique. C'est pourquoi de multiples analyses ont été faites à partir de celui-ci. D'une manière générale, découlant de l'analyse précédente (cf. « mélange ») étant le même modèle, la « gestion » est étudiée par rapport à la richesse spécifique avec les deux mélanges confondus. Par la suite, les deux mélanges sont filtrés pour que la richesse spécifique selon les gestions soit comparée au sein de chacun d'eux. Enfin, dans chaque mélange, les horizons sont filtrés également pour des raisons identiques.

Ainsi, pour une analyse globale, le modèle précédent est repris. La p-value est de 0.0360 pour le facteur « gestion ». L'hypothèse H0 est rejetée et l'hypothèse alternative H1 est acceptée : « il y a une différence significative de richesse spécifique selon les gestions ». Après l'application du test post-ANOVA SNK, la gestion « septembre » (groupe a) se différencie significativement d'une gestion « juillet-septembre » (groupe b). Les autres gestions (juillet-novembre et novembre) ne se différencient pas des autres (groupe ab). (**Document 14a**)

Lorsque les données sont filtrées à chaque mélange, l'effet des gestions sur la richesse spécifique est différent. En effet, le mélange « vert » voit sa richesse spécifique du stock semencier non significativement différente, alors que le mélange « fleuri » voit sa richesse spécifique significativement différente selon les gestions : la gestion « septembre » et significativement différente des gestions « double-fauche ». (**Document 14b**)

Enfin, les horizons sont filtrés au sein de chaque mélange pour étudier la richesse spécifique selon les différentes gestions. Il en ressort une absence de différence significative de richesse spécifique selon les

différentes gestions, que ce soit pour le mélange « vert/horizon 0-5 », et le mélange « vert/horizon 5-20 » (**Document 13**). En revanche, filtrée au mélange « fleuri » et à chaque horizon, la richesse spécifique est significativement différente selon les gestions appliquées (**Document 13**). En « fleuri 0-5 », les gestions « septembre » et « juillet-septembre » se différencient significativement (**Document 14c**), alors qu'en « fleuri 5-20 », la gestion « novembre » se différencie significativement des gestions « double-fauche » (**Document 14d**).

- **Horizon**

Pour cette analyse, le tableau de données utilisé différencie les deux horizons (0-5 et 5-20) pour chaque autre modalité que sont le mélange et la gestion. Le modèle créé est [**Richesse spécifique ~ Horizon**]. Avec un R² faible à 0.023, il montre que l'horizon explique qu'à 2% la valeur de la richesse spécifique. Après avoir testé les données résiduelles du modèle quant aux conditions d'application d'une ANOVA, le résultat de l'ANOVA donne une p-value = 0.069. Celle-ci est supérieur au seuil fixé à 0.05 : l'hypothèse H₀ « il n'y a pas de différence significative de richesse spécifique entre les horizons » est validée, avec toutefois une faible présomption (p-value < 0.1). Pour aboutir à une analyse complète, le coefficient de variation résiduel est calculé. Avec un résultat de 0.48, l'expérience et son analyse sont peu précises. En parallèle, le calcul de la puissance montre la capacité de l'analyse à détecter effet significatif du facteur étudié. En considérant qu'il y a deux modalités pour vingt-quatre répétitions (24 microparcelles et 2 horizons), la puissance de l'analyse est égale à 1. Ainsi, le résultat de l'analyse est valable. (**Document 13**)

D'une manière semblable à l'analyse de la richesse spécifique selon les gestions, la richesse spécifique selon les horizons est filtrée aux mélanges. Le modèle est [**Richesse spécifique ~ Horizon**], pour chacun des deux mélanges. Après avoir testé les conditions qu'une ANOVA impose, le résultat de l'ANOVA pour le mélange « fleuri » est p-value = 0.5474 avec une puissance d'analyse de 0.9991 en admettant qu'il y a deux modalités (2 horizons) et douze répétitions (12 microparcelles avec le mélange fleuri). Ainsi, l'hypothèse H₀ est acceptée : il n'y a pas de différence significative de richesse spécifique selon les horizons pour le mélange fleuri. L'analyse est valable avec une puissance très élevée (**Document 13**). Avec une p-value de 0.0394 et une puissance de 1, le résultat de l'ANOVA pour le mélange « vert » est valable. Le test post-ANOVA SNK différencie donc l'horizon 0-5 (groupe a) de l'horizon 5-20 (groupe b) d'une façon significative (**Document 15**).

b. Indice réciproque de Simpson

L'indice réciproque de Simpson est un indice de diversité prenant en compte l'aspect qualitatif (le taxon) et l'aspect quantitatif (abondance de chaque taxon). Celui-ci est donc plus pertinent dans l'analyse du stock semencier. Cet indice correspond à la variable quantitative de l'ANOVA, tandis que les modalités de gestion, de mélanges et d'horizons sont les variables qualitatives. De la même manière que pour la richesse spécifique, l'indice est moyenné durant l'analyse. Cette analyse se fait selon les trois facteurs, croisés ou non.

- **Mélange**

Les données utilisées sont différenciées selon les mélanges et les gestions, sur l'horizon 0-20. Le modèle est, tout comme pour la richesse spécifique, à deux facteurs pour réduire l'erreur résiduelle, soit [**Z ~ gestion + mélange**]. Après un test ANOVA, la diversité n'est pas significativement différente selon les deux mélanges, tous horizons confondus. En effet, la p-value étant supérieure à 0.05, H₀ est validé. La puissance de l'analyse étant de 0.941 (2 modalités et 12 répétitions), l'analyse est valable. Toutefois, il est notable que le R² du modèle est faible (R² = 0.07) et que le coefficient de variation résiduel est élevé (CV_{res} = 0.37), ce qui signifie que la gestion et le mélange ont un faible impact sur la diversité Z, et que l'analyse et l'expérience sont peu précises. (**Document 16**)

- **Gestion**

Tout comme pour la richesse spécifique, l'indice réciproque de Simpson (Z) est étudié selon les différentes modalités de gestion, filtrées ultérieurement aux mélanges et aux horizons. La suite de l'analyse de l'ANOVA correspondant au modèle [**Z ~ gestion + mélange**], donne un résultat différent du modèle équivalent utilisant la richesse spécifique (*Richesse spécifique ~ mélange + gestion*). En effet, la p-value étant supérieure) 0.05, l'hypothèse H0 est validée, Z n'est pas différent significativement selon les gestions. Il en est de même lorsque les mélanges sont filtrés (on sépare les données « vert 0-20 » et « fleuri 0-20 »), le modèle créé étant [**Z ~ gestion**]. Pour continuer dans l'analyse croisée (= filtrée), l'indice réciproque de Simpson n'est pas significativement différent selon les gestions, d'une part pour les données « vert 0-5 » et « vert 5-20 », mais aussi pour les données « fleuri 0-5 » (**Document 16**). Reste le dernier filtre « fleuri 5-20 », où une différence significative de Z est observable par rapport à la gestion, la p-value étant inférieur à 0.05. Ainsi, l'analyse permet de différencier significativement la gestion « novembre » à la gestion « juillet-novembre » (**Document 17**).

- **Horizon**

L'indice réciproque de Simpson est comparé selon les deux horizons pédologiques, filtré par mélange. Pour chaque mélange, le modèle est [**Z ~ horizon**]. En utilisant les données « vert 0-5/5-20 » (mélange vert différenciant les deux horizons), le test ANOVA (après avoir répondu aux conditions d'application) ne différencie pas significativement Z selon les deux horizons, la p-value étant égale à 0.060 (il reste toutefois une présomption, la p-value étant inférieure à 0.1). Il en va de même lorsque les données « fleuri 0-5/5-20 » (mélange fleuri différenciant les deux horizons) sont analysées. Le résultat de l'ANOVA ne différencie pas significativement Z selon les deux horizons, la p-value étant égale à 0.3421. Respectivement, les valeurs des puissances de l'analyse sont égales à 1 et à 0.9991. Les chiffres parlent d'eux même : les puissances étant élevées, le test est capable de différencier une différence significative s'il y en avait une. Ainsi, l'analyse est valable. (**Document 18**)

2. Discussion

Les modalités (mélange, horizon et gestion) sont étudiées selon la richesse spécifique et l'indice réciproque de Simpson. Globalement, s'il n'y a pas de différence significative entre des modalités de facteurs qualitatifs avec la richesse spécifique, il n'y en a pas avec l'indice réciproque de Simpson. Parfois, il se peut qu'il y ait une différence significative entre modalités selon la richesse spécifique, mais qu'il n'y en ait pas avec le réciproque de Simpson. L'indice réciproque maximise les espèces les plus abondantes et minimise les espèces les moins abondantes. Ainsi, s'il y a une différence en utilisant la richesse spécifique et qu'il n'y en ait pas avec l'indice réciproque de Simpson, c'est que les quelques espèces créant la différence sont peu abondantes. Il est donc plus pertinent de tenir compte de l'indice réciproque de Simpson. Toutefois, dans une optique de biodiversité, la richesse spécifique est intéressante à étudier ; le but étant de mettre en avant un point de différenciation entre les modalités, cet indice écologique n'est pas à rejeter.

La richesse spécifique et l'indice réciproque de Simpson ne sont pas différents selon les mélanges ; le mélange « vert » n'a pas un des indices écologiques plus élevé ou plus faible que le mélange « fleuri ». Ainsi, en termes de nombre d'espèces, tenant compte de leur abondance ou non, les mélanges se valent en termes de biodiversité semencière.

Par rapport aux horizons pédologiques, le manque de différence significative entre les deux modalités lorsque les deux mélanges sont confondus, montre soit que la mise en place des bandes fleuries n'a rien apporté de façon significative en termes de nombre d'espèces et de leur abondance (l'horizon 0-5 devrait être plus diversifié si tel était le cas), soit la dynamique verticale des graines est rapide et une homogénéisation a

été faite entre les deux horizons. Il est toutefois remarquable que, filtré à chaque mélange, une différence significative est visible entre les deux horizons pour le mélange vert. Cette différence non remarquable avec le mélange fleuri, peut être expliquée par une hypothèse. Le stock semencier a été évalué sans tenir compte des repousses dans la sélection de données. Pour les dicotylédones, la question ne se pose pas, toutes les plantules correspondent à des graines (à l'exception d'un *Cirsium arvense*). Toutefois, *Festuca rubra* est l'espèce monocotylédone la plus abondante dans le sock semencier. D'un point de vue abondance, elle est équivalente à *Chenopodium album* et *Mercurialis annua*. *Festuca rubra* est notamment abondante dans le mélange « vert ». Cette espèce a été comptabilisée sans tenir compte du phénomène « repousse », provenant d'une racine. De plus, cette espèce a été semée, composait le mélange « vert », et était absente de l'inventaire du stock semencier moyen de 2008. Ainsi, il s'ensuit que cette espèce a réussi à s'implanter d'une façon durable, étant abondante dans les stocks semenciers des sols ayant été ensemencés en mélange « vert », et étant abondante également dans les stocks semenciers des sols ayant été ensemencés avec le mélange « fleuri ». Pour en revenir à l'hypothèse envisagée concernant la différence de richesse spécifique entre les deux horizons dans les parcelles « vertes », en tenant compte de ce qui a été dit, il est supposé que de nouvelles espèces sont apparues (notamment des monocotylédones) et ont été relevées à partir de repousses. L'hypothèse d'une réussite d'ensemencement est tout autant envisagée.

Le but majeur de l'expérimentation est de mettre en avant la gestion la plus favorable à une biodiversité. C'est pourquoi les multiples analyses de l'effet supposé des gestions sur la diversité semencière sont pertinentes afin de compléter les études antérieures pour un conseil ultérieur. D'une façon générale, les simples fauches ont tendance à favoriser une biodiversité semencière par rapport aux doubles fauches. Cela s'explique par le broyage de juillet qui ne permet pas à toutes les espèces de porter à terme leur fructification. La différence significative se place entre la gestion « juillet-septembre » et « septembre ». La première ne permet sûrement pas la régénération optimale des graines des espèces présentes dans la végétation, tandis que la seconde le permet probablement.

Cependant, une fois filtré aux mélanges, la différence n'est plus significative pour le mélange « vert », bien que la tendance générale soit observable. Ainsi, ce mélange ne semble pas être sensible aux fréquences et périodes de broyage, sur une observation de diversité semencière (en tenant compte également de l'abondance, car il en est de même avec Z). En revanche, le mélange « fleuri » semble l'être. Tout horizon confondu, la gestion « septembre » semble favoriser significativement une diversité semencière plus élevée que les doubles fauches. L'explication est identique à ce qui a été dit précédemment. Filtré à l'horizon 0-5, il en résulte la même conclusion. Mais filtré à l'horizon 5-20, la gestion « novembre » se différencie des doubles fauches. La question est « pourquoi cette gestion pour cet horizon ? » ; peut-être que cette gestion conserve au mieux la diversité semencière dans l'horizon 5-20, c'est-à-dire qu'elle ne favorise pas la germination.

Si des gestions doivent être conseillées, on préférera les **simples fauches** sur la base de la diversité semencière. L'approche fonctionnelle permet d'étudier les données sur des groupes d'espèces.

III. APPROCHE FONCTIONNELLE

1. Résultats

a. Espèces désirables et indésirables

Les espèces présentes dans le stock semencier sont classées selon plusieurs catégories (**Document 19**). Les plantes désirables sont les taxons issus des mélanges semés et autres espèces ne faisant pas concurrence à la culture semée et celles de proximité. Les plantes indésirables sont réparties en sous catégories : indésirables de cultures de printemps, indésirables de cultures d'hiver, indésirables à toutes cultures et les

plantes invasives. Cette approche semble déterminante dans la pertinence potentielle que les bandes fleuries semées peuvent apporter à l'agriculteur quant à la diversité floristique désirable.

Les espèces sont donc réparties en groupes fonctionnels. Par la suite, chaque groupe est analysé indépendamment pour évaluer la gestion les favorisant. Pour chacun des cinq groupes, les conditions de l'ANOVA ne sont pas respectées. C'est pourquoi le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis permet de montrer si l'une des gestions influence ce type de flore.

Le résultat du test de Kruskal-Wallis de l'influence des gestions sur la flore désirable au sein du stock semencier montre une différence significative entre la gestion « novembre » et la gestion « juillet-septembre », la p-value étant égale à 0.0127. Le test post-hoc de comparaisons multiples de Kruskal-Wallis (kruskalmc) informe que la différence entre « novembre » et « juillet-septembre » est vraie. Toutes les autres comparaisons indiquent une différence fautive.

Le même test montre une différence significative entre la gestion « novembre » et les gestions double-fauches pour ce qu'il est de la flore indésirable des cultures de printemps. La p-value tend vers la nullité, le test post-hoc kruskalmc montre seulement une différence vraie entre les gestions citées ci-dessus. Ce groupe est le plus abondant au sein du stock semencier, puisqu'il regroupe, rappelons-le, *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* et *Mercurialis annua*, les plantes les plus abondantes de la banque de graine relevée.

Les trois groupes restant sont les moins abondants dans le stock semencier. Le test de Kruskal-Wallis appliqué sur chacun de ces groupes ne montre pas de différence significative entre les gestions : les trois p-values sont supérieures à 0.05. (**Document 20**)

Ainsi, la gestion « novembre » favorise les « indésirables de culture de printemps » au sein du stock semencier par rapport aux double-fauches, mais favorise également la flore dite « désirable » par rapport à la gestion « juillet-septembre ».

b. Types de Raunkiaer

Les types biologiques de Raunkiaer correspondent à une classification organisant les végétaux supérieurs selon la position de leurs organes de survie (bourgeons, graines, rhizomes, etc.). C'est pourquoi il est intéressant d'étudier l'abondance des différents types selon les gestions filtrées aux mélanges.

Sur les 24 espèces relevées dans le stock semencier, 13 espèces sont des thérophytes, 9 espèces sont des hémicryptophytes, 1 espèce parvophnérophyte et 1 espèce chaméphyte. Les données sont traitées de façon à montrer l'abondance des types de Raunkiaer (les graines correspondent à des espèces qui correspondent à des types de Raunkiaer) présents dans le stock semencier selon les gestions appliquées. Ainsi, après un test de Kruskal-Wallis (et test post-hoc « kruskalmc » si différence significative il y a) pour chaque type, il en résulte que l'abondance des thérophytes est significativement différente dans le sol où une gestion « novembre » est appliquée, par rapport aux stocks semenciers où des doubles-fauches sont appliquées (p-value = 0.002494). De même, la différence est significative pour les hémicryptophytes où leur abondance se voit la plus élevée dans les sols où une gestion « novembre » est appliquée et significativement plus faible lors d'une gestion « juillet-septembre » (p-value = 0.01876). En revanche, sûrement par manque de données, la différence d'abondance des chaméphytes et des parvophnérophytes n'est pas significative selon les gestions appliquées (p-values respectivement égales à 0.5198 et à 0.5665). (**Document 21**)

D'autres résultats non testés statistiquement peuvent être présentés. Les graphiques (**Document 22**) montrent que proportionnellement, les thérophytes sont dominants dans les stocks semenciers de toutes les gestions. Toutefois, une fois le mélange « vert » filtré (**Document 22a**), on remarque une proportion d'hémicryptophytes plus élevée avec une gestion « juillet-novembre » par rapport aux autres. C'est dans cette

modalité (mélange « vert », gestion « juillet-novembre ») que le taux d'hémicryptophytes est le plus élevé, s'élevant à près de 40%. Globalement, hormis la gestion de « juillet-novembre », les proportions des types de Raunkiaer sont semblables dans les deux mélanges. La différence est notable graphiquement entre le mélange « fleuri » et le mélange « vert » sur la gestion « juillet-novembre » où en mélange « fleuri » (**Document 22b**), la proportion d'hémicryptophytes ne dépasse pas les 15%.

L'analyse des types de Raunkiaer selon les différentes modalités de gestion peut être complétée par l'analyse de la stratégie de Grime des espèces présentes selon les différentes modalités de gestion.

c. Stratégie de Grime

La stratégie de Grime consiste à étudier les résultats selon une approche fonctionnelle qui caractérise les végétaux supérieurs selon trois catégories : les plantes compétitrices, les plantes résistantes et les plantes tolérantes au stress. Ces catégories peuvent être accumulées. Cette analyse montre ce que les gestions favorisent proportionnellement au sein du stock semencier.

Le graphique (**Document 23**) montre d'une façon descriptive que les stocks semenciers de quelconques gestions dans le mélange « vert » sont majoritairement composés de graines appartenant à des espèces de stratégie R, moyennant à environ 40%. Les gestions « juillet-novembre » et « septembre » semblent être relativement proches quant à leur proportion de chaque type. Les stocks semenciers des sols où ces gestions sont appliquées se composent d'espèces de type R, CSR, SR et CR. Les stocks semenciers de sols où une gestion « juillet-septembre » est appliquée ont une proportion élevée de graines appartenant à des espèces de stratégie SR (la plus élevée de toutes les gestions), n'ont pas d'espèces de stratégie CRS et ont la proportion d'espèces de stratégie CR la plus faible. Il en ressort que cette gestion ne favorise pas spécialement les espèces ayant un côté compétiteur. Pour finir sur le mélange vert, les stocks semenciers des parcelles où la gestion « novembre » est appliquée sont faiblement composés d'espèces SR à comparer aux autres stocks semenciers correspondant aux autres gestions.

Le graphique (**Document 24**) montre d'une façon descriptive que les stocks semenciers de quelconques gestions dans le mélange « fleuri » sont majoritairement composés de graines appartenant à des espèces de stratégie R, moyennant à environ 60% (le maximum à 75% étant pour les stocks semenciers des sols où une gestion « juillet-septembre » est appliquée, le minimum à 55% pour les stocks semenciers des sols où une gestion « septembre » est appliquée). Graphiquement, les stocks semenciers des sols où les simple-fauches sont appliquées ont une proportion plus élevée de graines issues d'espèces de stratégie CR que les double-fauches, mais semble avoir une proportion plus faible de graines issues d'espèces de stratégie SR que les double-fauches. Les graines issues d'espèces de stratégie CRS semblent être proportionnellement identiques selon les différentes gestions.

L'analyse de la stratégie de Grime des espèces présentes (en tenant compte de leur abondance) selon les différentes modalités de gestion montre l'effet des différentes fréquences et des différentes périodes de broyage sur l'abondance des stratégies d'espèces présentes.

2. Discussion

L'approche fonctionnelle permet de montrer différents aspects pertinents. Tout d'abord, il est montré que près de 80% du stock semencier relevé se compose d'espèces dites indésirables, que les indésirables de culture de printemps que sont *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* et *Mercurialis annua*, sont les plus abondantes. La gestion « novembre » favorise ces indésirables, mais favorise également les désirables. La gestion « septembre » semble être la gestion intermédiaire, pouvant être avancée afin de répondre à la question initiale de la gestion favorisant au mieux la biodiversité au sein du stock semencier.

Les thérophytes sont également les plus abondants lorsque l'on approche par le type de Raunkiaer. Ces espèces voient leur germination favorisée lorsque le sol est perturbé. C'est pourquoi d'une part on peut supposer que ces espèces ont été favorisées par la méthode d'évaluation (engendrant de multiples perturbations), et que l'absence de travail du sol des microparcelles, en particulier un travail fin, a conservé l'abondance de ces espèces en inhibant leur germination. Les hémicryptophytes sont l'autre groupe de stratégies les plus abondants. Ces deux groupes sont les plus dominants dans la végétation. Il a été montré par l'étude de Pierre-Alexandre Willot (2015), que les simples fauches favorisaient les hémicryptophytes et les doubles fauches favorisaient les thérophytes. Cela n'est pas visible réellement dans le stock semencier, mais il en ressort une cohérence de domination de ces deux groupes, ce qui paraît logique dans un contexte de bandes fleuries où les espèces arborescentes ne sont pas favorisées par les perturbations de broyage.

Globalement, les stocks semenciers des microparcelles, tout mélange confondu, se composent d'espèces de stratégie R (rudérales). Cela est d'autant plus vrai pour le mélange « fleuri » que pour le mélange « vert ». Il y a donc une majorité d'espèces (et de leur abondance) tolérantes à la perturbation, c'est-à-dire au broyage. La gestion « juillet-septembre » influence positivement la composition du stock semencier quant à l'abondance des espèces de stratégie SR (tolérantes au stress et rudérales), et négativement quant à l'abondance des espèces ayant un côté compétiteur. Les simples fauches notamment, ne privilégient pas des espèces ayant un côté tolérant au stress. Cela traduit donc que chaque gestion favorise des groupes d'espèces différentes. Il en ressort que les espèces relevées dans le stock semencier sont toutes rudérales. Selon la fréquence de fauche, les espèces tolérantes au stress sont dominantes aux compétitrices, ou vice versa.

Ainsi, les stocks semenciers de chaque gestion se ressemblent ou diffèrent selon les facteurs quantitatifs utilisés. Bien que les simples fauches semblent être plus favorables à une diversité floristique au sein du stock semencier, les doubles fauches, en particulier la gestion « juillet-septembre » dans le mélange vert, semble favoriser des espèces peu présentes dans les autres gestions (*Papaver rhoes*, *Sonchus asper*, etc.). Il en résulte que chaque gestion et chaque mélange créent un ensemble d'espèces floristiques différent, tous ces ensembles formant un écosystème plus complexe. Pour une question de simplicité du travail, une gestion doit être ressortie. Il est donc remarquable que les simples fauches maximisent la diversité floristique au sein du stock semencier ainsi que l'abondance des graines toutes espèces confondues.

Conclusion

L'équipe Agriculture Durable de l'INRA de Colmar a mis en place une expérimentation de bandes fleuries testant deux mélanges (« vert » et « fleuri ») de composition taxonomique différente. A chaque mélange, quatre modalités de broyage sont appliquées (juillet-septembre, juillet-novembre, septembre, novembre). Cette expérimentation a notamment pour but d'étudier la dynamique floristique temporelle de chaque mélange selon chaque gestion (en particulier la stabilité et la diversité de la flore). Un bilan en 2015 a été réalisé sur six années consécutives. La flore des mélanges semées régressant au profit de la flore spontanée, l'évaluation du stock semencier de chaque microparcelles permet de répondre aux questions demandées :

Comment évolue le stock semencier de bandes enherbées et fleuries semi-naturelles selon les modalités définies ? Le stock semencier reflète-t-il la composition floristique de la végétation présente ? Est-ce que la flore des mélanges semés s'est intégrée à la banque de graine du sol ?

De la terre a été prélevée à trois reprises dans chaque microparcelle (d'un volume identique) sur deux horizons (0-5 cm et 5-20cm). A partir de ces prélèvements, la banque de graine viable du sol a été évaluée en serre par identification et comptage des plantules après émergence de celles-ci. Les données ont été traitées statistiquement, d'une façon descriptive pour présenter l'inventaire, puis à l'aide de tests statistiques afin de différencier potentiellement les modalités des mélanges, gestions et horizons.

Le stock semencier inventorie 24 espèces floristiques, dont 80% de l'abondance appartient à quatre espèces (*Amaranthus retroflexus* L., *Mercurialis annua* L., *Chenopodium album* L., *Festuca rubra* L.), et dont 40% de l'abondance se compose d'*Amaranthus retroflexus*. Seulement 5 espèces des mélanges semées sont retrouvées dans la banque de graine viable du sol.

La diversité taxonomique est évaluée à partir de la richesse spécifique et de l'indice réciproque de Simpson. Il en résulte que les modalités de mélange et d'horizon ne sont globalement pas influençables sur la diversité taxonomique au niveau semencier. Les deux mélanges se valent quant à la diversité taxonomique au sein du stock semencier, alors que l'étude de Pierre-Alexandre Willot avait montré une diversité floristique plus élevée dans le mélange fleuri que dans le mélange vert. Les modalités de gestion se différencient entre elles selon la richesse spécifique et l'indice réciproque de Simpson. Ce deuxième indice prend en compte d'une façon plus significative l'abondance de chaque espèce, montrant un meilleur aperçu de la diversité, en sachant que l'évaluation est une estimation de la banque de graine. Ainsi, la diversité semencière est plus élevée dans les banques de graine des parcelles où des simples fauches sont appliquées, et la plus faible lors des doubles fauches, notamment une gestion juillet-septembre. Cela est remarquable en particulier dans le stock semencier où le mélange fleuri a été initialement semé, ce qui n'est pas le cas dans les stocks semenciers où le mélange vert a été semé puisque la différence de diversité semencière entre les gestions n'est pas significative. Cela peut laisser supposer que le mélange vert est plus stable que le mélange fleuri selon les gestions, ce qui est semblable à la conclusion de l'étude de Pierre-Alexandre Willot (la végétation des parcelles où le mélange vert a été semé est plus stable dans le temps et selon les gestions que le mélange fleuri).

Les différentes approches fonctionnelles ont permis d'analyser les données par formation de groupes d'espèces afin d'appréhender les résultats plus largement en tenant compte de l'abondance de chaque groupe formé. La classification des espèces selon l'aspect plante désirable/indésirable montre une dominance des espèces dites indésirables au sein du stock semencier (près de 80%). Les indésirables de cultures de printemps (*Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Mercurialis annua*) sont dominantes à 60%. La gestion de novembre semble favoriser l'abondance de ces espèces dans le stock semencier des parcelles où cette gestion est appliquée (notamment par rapport à la gestion juillet-septembre). Cependant, malgré cela, cette gestion

favorise également les plantes dites désirables (par rapport à la gestion juillet-septembre). La gestion septembre est globalement une gestion intermédiaire qui peut être jugée la meilleure, limitant les indésirables par rapport à la gestion de novembre, et ayant une abondance d'espèces désirables proche de la gestion de novembre. Quant aux deux autres approches fonctionnelles, des différences sont également remarquables selon les gestions. Les thérophytes et hémicryptophytes dominent le stock semencier, la gestion de novembre ayant une abondance supérieure de chaque type par rapport aux autres gestions. Proportionnellement, les hémicryptophytes sont dominants avec une gestion juillet-novembre, et les thérophytes sont dominants dans chaque gestion. Par ailleurs, la stratégie de Grime de chaque espèce montre la présence dans chaque gestion de plante rudérale. Les simples fauches semblent favoriser les plantes compétitrices, les doubles fauches, notamment juillet-septembre en mélange vert, semblent favoriser les plantes à caractère tolérant au stress.

Ainsi, cette étude a permis de montrer supposer l'effet direct ou indirect des gestions sur la composition du stock semencier, selon les horizons et les mélanges. Selon les critères de sélection des données (=filtres), les gestions se différencient significativement les unes des autres ou non. Cette évaluation montre une composition surprenante du stock semencier, notamment à la vue de l'abondance de *Amaranthus retroflexus*. La banque de graine ne représente pas la composition de la végétation et comporte peu d'espèces issues des mélanges semés à l'implantation des microparcelles. L'étude a montré l'implantation d'une dizaine d'espèces dans le stock semencier, et d'une quarantaine d'espèces présente dans la végétation et non présentes auparavant dans le stock semencier, ni semées. D'un point de vue général, l'étude a complété les autres études menées sur l'évaluation d'un stock semencier de bandes fleuries sur le fait que le résultat des dissemblable de la végétation présente. Elle a également complété l'étude de Pierre-Alexandre Willot qui avait traité l'aspect « végétation ».

Les perspectives de cette étude sont multiples. Cela peut commencer par une analyse plus complète des données (analyse de l'indice de pollinisation des espèces nouvelles dans la végétation, afin de montrer l'intérêt de l'implantation de ces microparcelles). Par la suite, un griffage a été réalisé en 2016 sur les microparcelles, ainsi que des relevés floristiques. Il peut être pertinent de comparer la végétation relevée avec le stock semencier. Dans la continuité des perspectives, il est envisageable de ressemer des mélanges pour redynamiser la végétation désirable. Puis, dans quelques années, il serait bien d'évaluer à nouveau le stock semencier des microparcelles, en doublant les carottages, et en analysant la moitié des prélèvements en serre froide, avec des variations de températures plus importantes, et en surveillant une humidité permanente de la terre. Dans l'immédiat, l'autre méthode d'évaluation du stock semencier qu'est le lavage des graines peut être réalisé pour une partie des prélèvements, afin de comparer les deux méthodes. Cela a déjà été réalisé par une équipe scientifique, concluant que les méthodes montrent des résultats différents (Price J. *et al*, 2010). Quel que soit la méthode d'évaluation, le résultat ne reste qu'une estimation, permettant cependant d'avoir un aperçu du potentiel floristique, en particulier en cas de perturbation du sol. Cette évaluation permet de montrer un faible ensemencement des espèces semées dans la banque de graine du sol. Cela peut être corrélé par hypothèse à la dynamique instable de la flore au sein des microparcelles et à une dominance des espèces spontanées au cours du temps, en gardant en tête qu'une évaluation de stock semencier n'est qu'une estimation ne reflétant pas obligatoirement la végétation présente. Au contraire, cette évaluation peut faire ressortir des espèces absentes de la végétation, dormantes dans le sol à l'état semencier, probablement par manque de conditions favorables de germination. Un stock semencier peut donc être une banque semencière patrimoniale pour la biodiversité. Cela est d'autant plus vrai en vue du changement climatique où des espèces ne pourront plus lever leur dormance à la suite d'une période de vernalisation, et composer ainsi un potentiel floristique non exprimé.

Matériel et méthode

L'étude porte sur l'analyse du stock semencier d'une expérimentation de bandes fleuries semi-naturelle, en microparcelles sur une bande de pleins champs. A ces microparcelles est appliqué un broyage selon quatre modalités d'époque et de fréquence.

I. LES MICROPARCELLES

1. Mélanges, plan et modalités

Sur la bande enherbée sont réparties 24 microparcelles. Douze d'entre elles sont semées avec un mélange « vert » et douze autres le sont avec un mélange « fleuri » (**document 25**). Les microparcelles de 2,4 mètres de large par 21 mètres de long sont réparties une bande enherbée de plein champs. A ces microparcelles sont appliquées quatre modalités de broyage. Certaines sont broyées en septembre (broyage précoce), d'autres en novembre (broyage tardif), chacune additionnée ou non d'un broyage en juillet, soit quatre modalités : septembre, novembre, juillet-septembre et juillet-novembre. Pour chacune des quatre modalités et chacun des deux mélanges, trois répétitions sont établies, ce qui se définit par une expérimentation en slip plot design (**document 26**). Le broyage s'effectue à une hauteur de 15 cm et sans exportation afin d'être plus proche de la réalité agricole ; cela implique peu d'heures de travail et moins de frais qu'avec exportation, dans un contexte agricole. Les cultures implantées antérieurement à la place des microparcelles étaient en rotation blé / maïs.

2. Gestion de l'essai

Les relevés floristiques sont réalisés quatre fois par an (avril, juin, juillet et septembre), chaque année à la même période, afin de suivre la dynamique de la flore au cours d'une saison et pouvoir l'étudier en fonction des conditions climatiques. Les relevés sont réalisés selon deux méthodes : la **présence/absence** et le **taux de recouvrement**.

La **présence/absence** consiste à inventorier la présence ou l'absence d'une espèce au sein de chaque microparcelle de 50,4m². Les plantes sont identifiées à l'aide d'une flore ou d'une botaniste. Les relevés sont répertoriés dans une base de données en fonction des modalités et de la date de relevé. Pour avoir la meilleure valeur de relevé, les vingt-quatre microparcelles doivent être comptabilisées dans la même semaine.

Le **taux de recouvrement** consiste à énoncer une estimation réelle de l'abondance d'une espèce dans un quadra. Deux quadras sont positionnés dans chaque microparcelle, à chaque relevé à la même place. Ceux-ci ont été aléatoirement placés au début de l'essai, mais de façon à rester éloignés le plus possible du bord, afin d'éviter l'effet de bordure. Les quadras de 1m² permettent donc de délimiter une surface dans laquelle l'abondance de chaque espèce floristique est jugée selon un pourcentage. Le sol nu est lui aussi comptabilisé, le tout devant atteindre 100% en étant le plus représentatif possible. C'est pourquoi, il est préférable de donner la mission de jugement aux mêmes personnes à chaque relevé.

II. LE STOCK SEMENCIER

Le stock semencier est déterminé par identification des plantules, après carottages et mise en baquette en serre chaude des carottes de terre prélevées. Ces plantules reflètent la banque de graine viables du sol, susceptibles de s'exprimer un jour *in situ*.

1. Les carottages

Les prélèvements du sol sont réalisés en début d'année calendaire (mars), afin d'éviter la germination des graines d'espèces précoces, tout en ayant conservé une certaine période de dormance hivernale pour les

espèces dans le besoin. Deux horizons pédologiques sont prédéfinis préalablement, afin d'initier une modalité de comparaison de stock semencier. Ainsi, dans l'horizon 0-5 cm et l'horizon 5-20 cm sont réalisés des carottages du sol à l'aide de tarières.

Pour chaque microparcelle, trois carottages de sol sont effectués dans trois quadras différents, et pour chaque horizon. A raison de 24 microparcelles, trois carottages pour chaque horizon, il faut effectuer 144 prélèvements. En outre, trois carottages pour chaque horizon sont effectués dans la parcelle de culture juxtaposée, de façon à avoir un élément de comparaison avec un système conventionnel en grande culture.

Les carottages des microparcelles sont donc accomplis dans les trois quadras. Cela permet d'homogénéiser les résultats et d'illustrer de façon aléatoire la réalité. Deux de ces quadras sont ceux utilisés pour les relevés floristiques du taux de recouvrement. Ceci peut permettre d'établir une comparaison entre le stock semencier et la végétation présente dans le quadra. Le troisième échantillonnage est prélevé dans un des huit quadras restant, positionné aléatoirement, dans chaque microparcelle (**Document 27**). En effet, chaque microparcelle est découpée en dix quadras (**Document 28**). Si le tirage aléatoire du troisième quadra en propose un déjà utilisé, alors le quadra suivant dans la numérotation sera retenu. Si cela est impossible, le quadra limitrophe du haut sera retenu, à l'exception de la parcelle n°1 où le troisième quadra sera retenu en 4Ouest. « Il faut considérer le chevelu racinaire comme faisant partie de l'horizon après avoir coupé le plus à ras possible la végétation au-dessus de l'échantillon. Il faut choisir dans le quadra, de préférence un emplacement nu (sol nu). » (Schneider C., Willot P.A., 2016).

Chaque modalité doit avoir un volume de sol semblable afin d'être homogène dans l'analyse et permettre le même potentiel de germination à chacune d'elles. Les tarières ont un diamètre de 5cm. Ainsi, la surface de prélèvement est de 78,5 cm². En outre, le prélèvement du volume de sol de l'horizon 5-20 cm (soit une profondeur de 15 cm) est trois fois plus important que celui de l'horizon 0-5 cm (soit une profondeur de 5 cm), puisque cela correspond respectivement à un volume de 1177,5 cm³ contre 392,5 cm³. Ainsi, il faut faire trois carottages de l'horizon 0-5 cm. Plusieurs auteurs cités par Hutchings en 1986 recommandent un prélèvement volumique de sol compris entre 1L et 1,2L pour les prairies (Bakker J.P. et al., 1996). Notre prélèvement est de 1,2L.

Chaque prélèvement est alors conditionné et étiqueté séparément pour être acheminé jusqu'en serre.

2. Evaluation en serre du stock semencier : mise en place

Le stock semencier est évalué qualitativement et quantitativement. Il représente le potentiel floristique de chaque microparcelle. Les échantillons de sol prélevés lors des carottages sont placés pour chacun d'entre eux dans des barquettes de cultures hors-sol. Leur volume est homogénéisé et la structure est affinée (décompactage des mottes de terre). Puisque la texture du sol est battante, de type limoneux, du sable de granulométrie 0-5 mm est ajouté et mélangé de façon à limiter la battance. Chaque échantillon a un volume de sol de 1177,5 cm³ ; 22,5 cm³ de sable autoclavé est ajouté, soit 36g (densité moyenne de 1,6 g.cm⁻³). Puisque du sable est additionné, celui-ci doit être inerte. C'est pourquoi un volume de sable identique à toutes les barquettes, répété trois fois (A, B, C), fait office de témoin.

Ainsi, il y a 24 microparcelles, deux horizons et trois répétitions (chaque répétition A, B, C correspondant à un quadra). Sur la parcelle de grande culture, il y a eu trois prélèvements (chaque prélèvement correspondant à une répétition) sur deux horizons. C'est pourquoi, un total de 153 barquettes est nécessaire pour mener l'expérimentation.

Chaque modalité est référencée selon le modèle suivant : N° microparcelle ~ Répétition ~ Horizon (ex. : 1A0-5 pour la microparcelle n°1, la répétition A et l'horizon pédologique 0-5 cm).

Les barquettes de terre sont disposées logiquement ; l'horizon est la première modalité de classement, suivi de la numérotation des microparcelles par ordre numérique. Témoins et échantillons de sol « grandes cultures » sont différenciés séparément. Horizontalement, les répétitions sont classées alphabétiquement (**Document 29**). En serre, les barquettes bénéficient d'un éclairage naturel, additionné d'un éclairage artificiel si besoin (lampe à sodium haute pression), pendant 14 heures par jour et d'une température pouvant varier sur un intervalle de 18°C à 28°C, l'optimum étant à 23°C. L'arrosage est journalier pour bénéficier d'une terre constamment humide et favoriser la germination.

3. Evaluation en serre du stock semencier : gestion de l'essai

Le stock semencier est évalué par identification des plantules, celles-ci illustrant le potentiel floristique de la banque de graines du sol. Il y a donc une analyse qualitative, mais aussi quantitative. En effet, les taxons sont relevés (genre et espèce), et leur nombre est comptabilisé dans chacune des modalités.

Ainsi, tous les deux jours, trois fois par semaine, un comptage et une identification des individus ayant levés permettent d'alimenter une base de données. Si un taxon peut être attribué à un individu germé, alors ce dernier est retiré de la barquette après avoir été relevé. Dans le cas où l'identification d'un individu demande un stade plus évolué qu'un stade jeune, le plant est repiqué en pot individuel contenant du terreau, en étant annoté. Une croissance plus aboutit, jusqu'à la fleur s'il le faut, permet d'identifier l'individu avec certitude à l'aide d'une flore. En effet, certains noms ne peuvent pas être identifiés au stade plantule, tels que *Medicago lupulina*, *Rumex crispus*, *Achillea millefolium*, *Daucus carota*, etc. Si une période de régression du taux de germination est observable, les milieux peuvent être perturbés par émiettement de la terre, bénéficiant par la même occasion d'une altération de la croûte de battance formée avec le temps. Cette opération aléatoire permet de redynamiser la levée des plantules.

Lorsqu'aucune nouvelle germination n'apparaît après 15 jours, les essais ne sont plus arrosés pour sécher. Par la suite, les sols sont perturbés par retournement/émiettement puis arrosés d'une solution d'acide gibbéréllique à 1 g.L⁻¹. Ce traitement gibbéréllique a pour objectif de faire lever les graines dormantes potentiellement présentes.

A travers cette gestion, le résultat illustre normalement le stock semencier viable du sol.

III. METHODE D'ANALYSE DES RESULTATS

1. Saisie des relevés

Chaque relevé est saisi dans un fichier Excel, détaillant en colonne la date du relevé puis chaque modalité répétée (ex : 1A0-5). En ligne, les espèces sont classées par ordre alphabétique des noms latin. Ainsi, dans les cases reliant ligne et colonne est saisi, s'il y a eu un taxon de relevé car identifié, l'abondance du taxon.

Le fichier a été créé de façon à obtenir des informations actualisées à chaque relevé. C'est pourquoi une autre feuille du tableur permet de visualiser le tableau récapitulatif des données saisies en additionnant chaque relevé selon chaque prélèvement (fonction « somme »). Ce fichier calcule de même automatiquement le nombre de graine total de chaque prélèvement (fonction « somme »), la richesse spécifique (fonction « somme ») ainsi que l'indice réciproque de Simpson (Voir ci-dessous).

2. Indices écologiques

- **Richesse spécifique**

La richesse spécifique est un indice de biodiversité d'un écosystème donné, correspondant au nombre de taxons relevés. La fonction « =nb » est utilisée pour la calculer sur Excel.

- **Indice réciproque de Simpson**

L'indice réciproque de Simpson est un indice de diversité, il renvoie au nombre d'espèces dominantes dans le milieu. Il se base sur la fréquence des individus élevée au carré, correspondant à leur abondance. Par conséquent la contribution relative des espèces rares est presque insignifiante. La formule « $((1/\text{SOMME}(P12:EE12)^2)*\text{SOMME.CARRES}(P12:EE12))$ » permet d'obtenir la valeur de cet indice, « P12 :EE12 » correspondant à des cases Excel de façon non exhaustive.

A partir de ces indices écologiques, des tests statistiques sont réalisés.

3. Tests statistiques

Les tests statistiques sont réalisés via le logiciel libre de traitement statistique informatique R. De multiples packages le composent et permettent de réaliser les tests. Le package d'aide à la commande nommé R-commander (Rcmdr) est utilisé et permet de réaliser les tests après avoir chargé en complément les autres packages et plugins nécessaires (agricolae, pgrimess, GraphR, RcmdrPlugin.FactoMineR, RcmdrPlugin.IPSUR).

a. Tests d'analyse de variance

Les tests d'analyse de variance sont utilisés afin de montrer si un facteur qualitatif testé influe sur un autre facteur quantitatif mesuré. Pour obtenir un résultat optimal, chaque **modalité** est répétée de façon à minimiser l'erreur d'analyse. Ainsi, l'analyse commence par la création du modèle. Pour cela, le package agricolae doit être chargé. (**Document 30**)

- ***Création du modèle***

La création du modèle est la base de l'analyse puisqu'il permet définir les facteurs testés. Ce modèle linéaire, peut prendre en compte un unique facteur quantitatif ou plusieurs facteurs quantitatifs. Si plusieurs facteurs, ou variables, quantitatifs ont été relevés, il est plus judicieux de réaliser un modèle multifactoriel, plutôt que monofactoriel pour chacun des facteurs. En effet, La prise en compte des deux facteurs simultanément permet de ne faire qu'une analyse au lieu de deux et d'en tirer plus d'information. En effet, la prise en compte simultanée des facteurs (qu'ils aient un effet ou non) réduit la variabilité résiduelle en attribuant une partie des variations des données à l'un et à l'autre des facteurs. La variabilité résiduelle étant réduite, les effets des facteurs sont plus visibles. Par création du modèle, le coefficient de corrélation est calculé, et est interprété : il correspond à la part expliquée par le modèle.

Afin de valider le modèle, différents tests sont appliqués à l'erreur résiduelle, c'est-à-dire sur les résidus, après avoir été ajoutés au jeu de données. En effet, ceux-ci représentent l'erreur aléatoire supposée du modèle. Pour réaliser une ANOVA, deux conditions doivent être respectées : la normalité des données et l'homoscédaticité (homogénéité de la variance).

- ***Normalité des données : test de Shapiro-Wilk***

La normalité des données est vérifiée avant de les traiter statistiquement. C'est pourquoi le test de Shapiro-Wilk permet d'envisager la suite des tests à utiliser. L'hypothèse nulle étant : il n'y a pas de différence entre la distribution des données et une distribution normale. Dans ce cas, des tests paramétriques sont envisageables (tel que l'ANOVA). Dans le cas contraire, des tests non-paramétriques doivent être appliqués (tel que le test de Kruskal-Wallis). C'est après création du modèle que la normalité des résidus est vérifiée. Si celle-ci est approuvée, alors il faut analyser l'homoscédaticité des valeurs.

- **Homoscédaticité des données : test de Bartlett**

L'homoscédaticité correspond à l'homogénéité de la variance des résidus du modèle linéaire créé. Elle s'oppose à l'hétéroscédaticité qui exprime l'hétérogénéité de la variance de l'erreur résiduelle. Ce test est appliqué à chaque facteur quantitatif variable analysé. L'hypothèse nulle de ce test à valider si la p-value est inférieure à 0,05 est : pas de différence significative de la variance des résidus. Si l'homoscédaticité des résidus est vérifiée, il faut évaluer la possibilité d'individu suspect. Sinon, il faut appliquer un test non-paramétrique (tel que le test de Kruskal-Walis).

- **Individu suspect : test de Bonferonni**

Le test de Bonferonni permet de souligner la présence d'éventuels individus suspects, en ressortant les valeurs extrêmes. A la suite de ce test, il est envisagé de supprimer la donnée si la p-value du test permet de rejeter l'hypothèse nulle : la valeur extrême n'est pas un individu suspect.

Une fois les trois tests appliqués, le test ANOVA peut être utilisé afin de voir l'influence des variables sur le facteur qualitatif testé.

- **Analyse de variance paramétrique : ANOVA**

L'ANOVA, ou encore analyse de variance, teste la variation de la moyenne d'une variable quantitative selon l'influence d'une ou plusieurs facteurs qualitatifs indépendant. Un facteur qualitatif présente plusieurs modalités devant être répétée. Le nombre de répétition est corrélé positivement à la puissance de l'analyse. L'hypothèse nulle envisagée est : le facteur n'a pas d'influence significative sur la moyenne. On cherche donc à montrer une égalité des moyennes. L'hypothèse contraire est qu'il y a une différence significative des moyennes. Le seuil de différence est établi à 95% de probabilité. Ainsi, si la p-value du test est supérieure à 0,05, l'hypothèse nulle est acceptée. Dans le cas contraire, elle est rejetée et l'hypothèse alternative est privilégiée. S'il y a une différence significative, des groupes sont formés par un test post-ANOVA.

- **Puissance de l'analyse**

La puissance de l'analyse ANOVA peut être mesurée afin de montrer la valeur du modèle et en particulier du résultat de l'ANOVA. Une puissance très élevée permet de confirmer le résultat. Cela est d'autant plus important si le résultat indique qu'il n'y a pas de différence significative. Le tableau de décision est présenté dans le **document 31** (Lollier M., 2016). Pour calculer la puissance de l'analyse, le plugin RcmdrPlugin.IPSUR est nécessaire.

- **Test post-ANOVA : test de Student Newman-Keuls**

Le test post-ANOVA de Student Newman-Keuls est un test de comparaison de moyennes multiples. Il permet de former des groupes selon les modalités étudiées, lorsqu'une différence significative a été montrée. Les groupes créés sont différencié par des lettres (a,b,c, etc.). Si un groupe se nomme de plus d'une lettre, alors c'est que la différence n'est pas significative avec les autres groupes se composant d'au moins d'une de ses lettres. Ce test est intermédiaire au test LSD Student-Fisher (Least Significant Differences) plus discriminant mais avec un risque d'erreur le plus élevé que le SNK, et au test de HSD de Tukey (Honestly Significant Différences) moins discriminant mais avec un risque d'erreur plus faible que le SNK. Le test LSD est plutôt à utiliser quand on cherche à maximiser les différences, le test HSD quand on veut les minimiser et le test SNK est intermédiaire. On choisira ainsi le test SNK. Si la p-value de l'ANOVA informe d'une différence significative, mais que le test SNK ne différencie aucun groupe, alors le test LSD est utilisé. L'interprétation est identique qu'avec le test SNK, en sachant qu'il est moins discriminant.

- **Analyse de variance non-paramétrique : test de Kruskal-Walis**

Le test de Kruskal-Walis est un test non-paramétrique de comparaison d'échantillon, l'hypothèse nulle étant qu'ils appartiennent tous à la même population. Il est une alternative à l'ANOVA, dans le cas où les données ne suivent pas une distribution dite normale (d'où son caractère de test non-paramétrique). Ce test se base sur une comparaison des échantillons un à un, dans le but de déterminer une possible différence significative qui impliquerait une provenance différente de populations (correspondant aux groupes). Le package `pgirmess` doit être chargé en complément pour utiliser la fonction « `Kruskalmc` » permettant de comparer deux à deux les échantillons.

- **Sortie graphique**

Les résultats des tests sont illustrés graphiquement à l'aide du package `GraphR`.

4. Plan de traitement des résultats

Les résultats sont traités selon différentes approches, utilisant les tests statistiques, ou non.

a. Approche descriptive

L'approche descriptive est une approche préliminaire aux tests statistiques, permettant de mettre en avant les résultats bruts obtenus.

b. Approche taxonomique

L'approche taxonomique consiste à prendre en compte la richesse spécifique, correspondant à la diversité taxonomique (nombre d'espèces). Cette richesse spécifique est évaluée selon les modalités appliquées à l'expérimentation. En d'autre terme, la richesse spécifique fait office de variable quantitative mesurée. Toutefois, la richesse spécifique est un indice écologique ne prenant en compte qu'un aspect qualitatif (un taxon étant une variable qualitative). C'est pourquoi l'indice réciproque de Simpson permet d'ajouter à l'analyse l'aspect quantitatif correspondant à l'abondance de chaque taxon.

c. Approche fonctionnelle

L'approche fonctionnelle consiste à former des groupes d'espèces selon des fonctions, et de tester ces groupes selon les modalités appliquées. Cette approche permet de mettre en avant les groupes d'intérêt écologique et agronomique, et vice versa. Pour cela, l'aspect plantes désirables/indésirables est regardé, de même que les types de Rauenkier, la stratégie de Grime. (**Document 32**)

Le classement plantes désirables/indésirables est créé à la suite des espèces inventoriées dans le stock semencier 2016. La classification a été faite personnellement dans le sens où ce n'est pas une nomenclature officielle. Il a été défini comme plante dite indésirable, toutes espèces faisant concurrence à la culture en place et/ou aux cultures de proximité. Il est donc sous-entendu toutes espèces adventices des systèmes grandes cultures et viticulture. La classification est réalisée dans la partie résultat, puisqu'elle dépend du résultat de l'évaluation du stock semencier (**Cf. document 19**).

Références

- Allaire S.E., Sylvain C., Lange S.F., Thériault G., Lafrance P.** *Potential Efficiency of Riparian Vegetated Buffer Strips in Intercepting Soluble Compounds in the Presence of Subsurface Preferential Flows.* [Article] PLoS ONE 10(7): e0131840. doi:10.1371/journal.pone.0131840, 2015.
- Amiaud B., Touzard B.** *The relationships between soil seed bank, aboveground vegetation and disturbances in old embanked marshlands of Western France* [Revue] Flora, n° 199, pages 25-35, 2004.
- Bakker J.P., Poschod P., Strykstra R.J., Bekker R.M., Thompson K.** *Seed banks and seed dispersal : important topics in restoration ecology.* [Revue] Acta Botanica Neerlandica, n°45, pages 461-490, 1996.
- Barriuso, E., Benoit, P., Dubus, I.G.** *Formation of pesticide nonextractable (bound) residues in soil: Magnitude, controlling factors and reversibility.* [Revue] Environmental Science AND Technology, n°42, pages 1845-1854, 2008.
- Bedos, C., Cellier, P., Calvet, R., Barriuso, E.** *Occurrence of pesticides in the atmosphere in France.* [Revue] Agronomie, n° 22, pages 35-49, 2002.
- Bokenstrand A., Lagerlöf J. et Torstensson P. R.** *Establishment of vegetation in broadened field boundaries in agricultural landscapes* [Revue] Agriculture, Ecosystems and environment, n°101, pages 21-29, 2004.
- Benton T.G., Vickery J.A., Wilson J.D.** *Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key?* [Revue] Trend in Ecology and Evolution, n°18, p182-188, 2003.
- Benvenuti S.** *Soil texture involvement in germination and emergence of buried weed seeds* [Revue] Agronomy Journal, n°95, pages 191-198, 2003.
- Cordeau S.** *Conséquences de la mise en place des bandes enherbées sur l'évolution de la flore adventice.* [Thèse], pages 2-10, 2010.
- Delescaille L.M., Taupinart E., Jacquemart A.L.** *L'apport de la banque de graine du sol dans la restauration des pelouses calcicoles : un exemple dans la vallée du Viroin (Belgique).* [Article] Parcs et Réserves, volume 61, n°3, 12 pages, 2006.
- Duchemin M., Lafrance P., Bernard C.** *Les bandes enherbées : une pratique de conservation efficace pour réduire la pollution diffuse.* [Fiche technique] #FT040905Fb. IRADA, 2 pages, 2002.
- Dufumier M.** *Agro-écologie et développement durable.* [Rapport] ISDA de juin 2010 à Montpellier, France. Cirad-Inra-SupAgro, 20 pages, 2010.
- Edwards G. R., Crawley M. J.** *Herbivores, seed banks and seedling recruitment in mesic grassland.* [Revue] Journal of Ecology, n°87, pages 423-435, 1999.
- Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer.** *Évaluation française des écosystèmes et des services écosystémiques (EFESE),* rubrique Développement durable [En ligne] 8 janvier 2015 [dernière mise à jour le 9 janvier 2015] [consulté le 21 juillet 2016]. Disponible sur : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-francaise-des.html>
- Gaujour E.** *Evaluation des sources d'espèces et des déterminants de la diversité végétales des parcelles agricoles.* [Thèse] Chapitre 3 : Rôle des interchamps et du stock semencier comme source d'espèces. Pages 151-253, 2010.
- Hilhorst H.W.M., Karssen C.M.** *Seed dormancy and germination: the role of abscisic acid and gibberellins and the importance of hormone mutants.* [Revue] Plant Growth Regulation, volume 11, pages 225-238, 1992.
- INRA.** Rubrique « Qui sommes-nous ? ». [En ligne] 2014, [Consulté le 20 avril 2016]. Disponible sur : <http://institut.inra.fr/>

INRA Colmar. Rubrique « Le centres/ Les recherches ». [En ligne] Dernière mise à jour le 30 avril 2013, [Consulté le 20 mai 2016]. Disponible sur : <http://www.colmar.inra.fr/Le-centre-Les-recherches/Le-centre-Inra-de-Colmar>

INRA LAE Nancy-Colmar, Université de Lorraine. Rubrique « Personnel ». [En ligne] Dernière mise à jour le 13 janvier 2016, [Consulté le 29 avril 2016]. Disponible sur : <http://lae.univ-lorraine.fr/personnel/organigramme/>

Iowa State University, College of agriculture and life science. *The soil seed bank* [En ligne] Jdekker 1997 [Consulté le 11 mai 2016]. Disponible sur : <http://agron-www.agron.iastate.edu/~weeds/ag317/bioeco/lifecycle/seedbank.html>

Jensen K. *Species composition of soil seed bank and seed rain of abandoned wet meadows and their relation to aboveground vegetation.* [Revue] *Flora*, volume 193, n°4, pages 345-359, 1998.

Larousse. [En ligne] [Consulté le 18 juillet 2016]. Disponible sur : <http://www.larousse.fr/>

López-Mariño A., Luis-Calabuig E., Fillat F., Bermúdez F.F. *Floristic composition of established vegetation and the soil seed bank in pasture communities under different traditional management regimes.* [Revue] *Agriculture, Ecosystems & Environment*, volume 78, pages 273–282, 2000.

Milberg P. *Seed bank and seedlings emerging after soil disturbance in a wet semi-natural grassland in Sweden.* [Revue] *Annals Botanici Fennici*, volume 30, pages 9-13, 1993.

Poschlod et al., 1991 - Leck et al., 1993 - Poschlod et Jackel, 1993 - Willems, 1995 - Dutoit et Alard, 1995 - Bakker et al., 1996 - Kalamees et Zobel, 1997 - Davis et Waite, 1998 in : **Delescaille L.M., Taupinart E., Jacquemart A.L.** *L'apport de la banque de graine du sol dans la restauration des pelouses calcicoles : un exemple dans la vallée du Viroin (Belgique).* [Article] *Parcs et Réserves*, volume 61, n°3, 12 pages, 2006.

Price J., Wright B., Gross C., Whalley W. *Comparison of seedling emergence and seed extraction techniques for estimating the composition of soil seed banks.* [Revue] *Methods in Ecology and Evolution*, n°1, pages 151-157, 2010.

Raven P.H, Evert R.F, Eichhorn S.E. *Biologie végétale.* [Livre] Traduction de la 6^e édition américaine par Jules Bouharmont. Edition de Boeck, page 685, 2000.

Schiavon M., Perringanier C., Portal J.M. *La pollution de l'eau par les produits phytosanitaires : état et origine.* [Revue] *Agronomie*, volume 15, pages 157-170, 1995.

Schneider C., Willot P.A. *Protocole PES1 : Protocole d'échantillonnage sur deux horizons pédologiques pour l'évaluation du stock semencier de l'expérimentation en microparcelles.* INRA, 4 pages, 2016.

Smith H., Feber R.E., Morecroft M.D., Taylor M.E., Macdonald D.W. *Short-term successional change does not predict long-term conservation value of managed arable field margins.* [Revue] *Biological Conservation*, n°143, pages 813-822, 2010.

Smith R.S., Shiel R.S., Millwards D., Corkhill P., Sanderson R.A. *Soil seed banks and the effects of meadow management on vegetation change in a 10-years meadow field trial.* [Revue] *Journal of Applied Ecology*, volume 39, pages 279-293, 2002.

Tscharntke T., M. Klein A., Kruess A., Steffan-Deweneter I., Thies C. *Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - ecosystem service management* [Revue]. *Ecology Letters*, n°8, p 857-874, 2005.

Vallières D. *Bandes enherbée étroite et travail réduit de sol pour contrôler la pollution diffuse en milieu agricole.* [Rapport] Colloque en agroenvironnement. Pages 2-8, 2005.

Willot P.A. *Dynamique de la flore de bandes enherbées et fleuries en fonction des pratiques de gestion.* [Mémoire], 25 pages, 2015.

Résumé

L'agriculture intensive issue de l'essor de la pétrochimie, eu des conséquences positives telles que la réduction de la pénibilité du travail grâce à la mécanisation, ainsi que la sécurité alimentaire en France. Toutefois, des externalités négatives sont remarquables sur l'environnement en particulier, et portent atteinte à la durabilité de l'agriculture nourricière et à la santé publique. C'est pourquoi des actions (recherches, expérimentations, évaluations environnementales, etc.) sont menées afin de réduire les impacts de l'activité agricole. Dans l'équipe Agriculture Durable de l'INRA de Colmar, une expérimentation de bandes fleuries en microparcelles est menée depuis 2009, testant deux mélanges semés de composition taxonomique différente. Elle évalue l'effet de quatre modalités de broyage (juillet-septembre, juillet-novembre, septembre, novembre) sur la biodiversité, en particulier sur la diversité floristique qui représente un potentiel alimentaire pour les pollinisateurs et autres auxiliaires de culture. Actuellement, la flore semée régresse au profit de la flore spontanée. C'est pourquoi l'évaluation du stock semencier de chaque microparcelle permet de montrer si les espèces initialement semées se sont implantées dans la banque de graine du sol. Cette évaluation est réalisée par prélèvement d'un volume de sol placé en serre, puis par identification et comptage des plantules émergentes de ce sol. Après analyse descriptive et statistique des données, l'évaluation du stock semencier montre une composition taxonomique différente de celle de la végétation, entre autres par l'abondance à 40% de *Amaranthus retroflexus* dans le stock semencier. Seulement cinq espèces semées sont y retrouvées en faible quantité à l'exception de *Festuca rubra*. Globalement, les simples fauches semblent être favorables à une diversité taxonomique semencière, favorisent une abondance élevée d'espèces désirables au sein du stock semencier, mais aussi celle d'espèces indésirables, non exprimées en grande quantité dans la végétation. Cette évaluation est une estimation du potentiel floristique à partir de la banque de graine du sol. Cette étude confirme d'autres études scientifiques, sur le fait qu'un stock semencier ne reflète que partiellement la composition de la végétation. Ainsi, de multiples hypothèses peuvent être envisagées. L'évaluation est-elle réellement représentative de la composition réelle ? ou est-ce que la banque de graine du sol n'est-elle pas un refuge à espèces dormantes ne trouvant pas de bonnes conditions de germination ?