



**HAL**  
open science

## Gestion agro-écologique de la flore adventice dans les systèmes à bas niveau d'usage d'herbicides : le projet ADVHERB

Sandrine Petit, Sabrina S. Gaba, Nathalie Colbach, Christian C. Bockstaller, V. Bretagnolle, Delphine Meziere, Charles Ricou, Aude Trichard, Nicolas Munier-Jolain

### ► To cite this version:

Sandrine Petit, Sabrina S. Gaba, Nathalie Colbach, Christian C. Bockstaller, V. Bretagnolle, et al.. Gestion agro-écologique de la flore adventice dans les systèmes à bas niveau d'usage d'herbicides : le projet ADVHERB. *Innovations Agronomiques*, 2013, 28, pp.75-86. 10.17180/0e18-b458 . hal-02648622

**HAL Id: hal-02648622**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02648622>**

Submitted on 29 May 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

## Gestion agro-écologique de la flore adventice dans les systèmes à bas niveau d'usage d'herbicides : le projet ADVHERB

Petit S.<sup>1</sup>, Gaba S.<sup>1</sup>, Colbach N.<sup>1</sup>, Bockstaller C.<sup>3</sup>, Bretagnolle V.<sup>2</sup>, Mézière D.<sup>1</sup>, Ricou C.<sup>3</sup>,  
Trichard A.<sup>1</sup>, Munier-Jolain N.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>INRA UMR1347 Agroécologie, BP 86510, 21000 Dijon, France

<sup>2</sup>CNRS CEBC, 79360 Beauvoir sur Niort, France

<sup>3</sup>INRA UMR1121, BP 20507, 68021 Colmar, France

Correspondance : sandrine.petit2@dijon.inra.fr

### Résumé

La réduction de la dépendance aux herbicides est un enjeu sociétal fort et d'actualité. Or, l'état actuel des connaissances ne fournit pas de solutions alternatives génériques pour gérer la flore adventice et ainsi minimiser les pertes potentielles de rendements. Dans le contexte d'une réduction de l'utilisation d'herbicides, peut-on envisager de nouveaux systèmes de culture et des nouveaux agencements spatio-temporels des territoires agricoles qui permettraient simultanément de gérer les adventices, de maintenir le caractère productif des cultures et, pourquoi pas, d'offrir une plus value environnementale en termes de services écologiques ou de maintien de la biodiversité ? Ces questions sont traitées dans le cadre du projet ANR Systerra ADVHERB « *Gestion agro-écologique de la flore adventice dans des systèmes à bas niveaux d'herbicides* » coordonné par l'UMR Agroécologie de Dijon et qui associe plusieurs partenaires nationaux.

**Mots-clés:** système de culture, évaluation, indicateurs, paysage, régulations biologiques

### Abstract:

Reducing the reliance on chemicals for food production is a major challenge faced by agriculture today. Yet, current scientific knowledge does not provide generic alternatives to chemicals for weed management and the potential yield loss that could result from a lack of weed control. If we are to reduce the use of herbicides, are we today in a position to propose new cropping systems and landscape engineering at the scale of territories that would simultaneously deliver acceptable levels of weed control and sufficient crop yield and even provide additional environmental benefits such as the enhancement of biodiversity in agrosystems? These questions are being visited within an ANR-funded project « *Towards an agro-ecological management of weeds in low herbicide systems* » led by the UMR Agroécologie in Dijon and which is bringing together several national research partners.

**Keyword:** cropping system, assessment, indicators, landscape, biological regulations

### Introduction

Le souci d'améliorer les rendements et la lutte contre les bio-agresseurs des cultures s'est traduit par une utilisation accrue de produits phytosanitaires dont les effets environnementaux secondaires, peu ou pas maîtrisés, interrogent aujourd'hui la société sur le caractère durable de cette stratégie. Si la vocation première de l'agriculture reste de répondre aux besoins alimentaires de la population, la prise en compte de la dimension environnementale de l'agriculture amène une nouvelle donne, qui implique une remise en cause des pratiques agricoles actuelles.

La gestion des adventices repose principalement sur des traitements herbicides. Cette dépendance est justifiée par la large gamme d'herbicides disponibles, leur facilité d'utilisation mais surtout par leur efficacité sur la quasi-totalité des espèces adventices. Or, l'état actuel des connaissances ne fournit pas de solutions alternatives génériques pour gérer la flore adventice et ainsi minimiser les pertes potentielles de rendements. Dans le contexte d'une réduction de l'utilisation d'herbicides, le projet ANR Systerra ADVHERB « *Gestion agro-écologique de la flore adventice dans des systèmes à bas niveaux d'herbicides* » avait pour objectif d'identifier de nouveaux systèmes de culture et de nouveaux agencements spatio-temporels des territoires agricoles qui permettraient simultanément de gérer les adventices, de maintenir le caractère productif des cultures et, pourquoi pas, d'offrir une plus-value environnementale en termes de services écologiques ou de maintien de la biodiversité. Ce consortium de recherche s'est appuyé sur l'utilisation complémentaire d'expérimentations, observations et modélisation sur une gamme de sites unique à l'échelle nationale: parcelles expérimentales en conditions contrôlées, parcelles sous mesures agri-environnementales « réduction herbicides », réseaux de parcelles sur un paysage et territoire.

Ce document synthétise les avancées sur trois aspects particuliers qui ont été développés dans le projet. Le premier volet présente les stratégies agronomiques testées pour réduire la pression herbicide, que ce soit en expérimentation ou dans le monde agricole au sens large, et les enseignements qui peuvent être tirés de ces expériences et observations. Le second aspect concerne l'évaluation multicritère de systèmes de culture économes en herbicides et présente les avancées en terme de modèles de prévision de flore et d'indicateurs adaptés à l'évaluation de ces systèmes. La troisième partie synthétise les progrès réalisés sur notre compréhension des effets de déterminants autres que le système de culture *per se*, notamment l'organisation spatio-temporelle des paysages agricoles et le rôle potentiel d'autres communautés de l'agrosystème sur l'évolution des communautés adventices.

## 1. Les stratégies agronomiques pour réduire la pression herbicide

Selon le cadre d'analyse du modèle ESR (« efficacité », « substitution » et « re-conception » ; Hill et McRae, 1995), l'évolution des systèmes agricoles vers des systèmes économes en herbicides pourrait s'effectuer par trois voies : une première voie visant à augmenter l'efficacité d'une ou plusieurs techniques agricoles, une seconde visant à substituer une technique par une autre et une troisième visant à reconfigurer le système de culture. Dans le cas de la gestion des adventices, il semble peu probable d'obtenir rapidement une molécule qui associe efficacité de lutte, faibles impacts environnementaux et faibles coûts. La première voie ne semble par conséquent pas appropriée. De même, le niveau d'efficacité des herbicides n'est pas atteint par l'utilisation d'une autre technique agricole de gestion telle que le faux-semis ou le désherbage mécanique (Munier-Jolain *et al.*, 2008). La substitution des herbicides par une technique agricole unique ne semble donc pas pertinente pour maintenir les rendements à des niveaux acceptables. La re-conception des systèmes agricoles reste donc l'alternative envisageable et cette alternative semble avoir été adoptée à la fois par le monde de la recherche mais également par le monde agricole. Dans cette partie, nous illustrons à partir de travaux expérimentaux mais également d'enquêtes auprès des agriculteurs (i) les différentes stratégies agronomiques qui sont mises en œuvre pour gérer la flore adventice dans un contexte de réduction d'herbicides et (ii) les conséquences de ces changements sur cette flore.

### 1.1 Reconception des SdCs par combinaison de techniques culturales : exemple de la Protection Intégrée des Cultures

La protection intégrée des cultures (PIC) utilise des techniques et méthodes de gestion adaptées en fonction du milieu et de la dynamique des bio-agresseurs considérés (Milaire, 1995). Cette approche requiert un choix raisonné des techniques à combiner dans le système en fonction de leur effet seul mais également en interaction afin de valoriser des synergies, par exemple. Une expérimentation

systemique a été initiée en 2000 sur l'unité expérimentale d'Epoisses afin de comparer l'efficacité des systèmes conventionnels et des systèmes PIC pour gérer les espèces adventices. L'objectif de cette expérimentation est de déterminer si ces nouveaux systèmes PIC permettent d'atteindre des performances environnementales et agronomiques tout en respectant une rentabilité économique et une acceptabilité sociale par les agriculteurs. Quatre corps de règles de décision relevant de la PIC ont été mis en place sur les essais (voir Munier-Jolain *et al.*, 2008, Chikowo *et al.*, 2009 pour plus de détails). L'analyse de l'évolution des flores adventices et des impacts environnementaux dans les 5 systèmes a montré que les systèmes PIC permettaient de réduire significativement la dépendance aux herbicides tout en contrôlant efficacement les infestations d'adventices à moyen terme (Chikowo *et al.*, 2009). Le passage d'un système fortement dépendant aux herbicides (conventionnel de référence) à des systèmes utilisant une gamme de techniques engendre des modifications de la composition des flores adventices. La richesse spécifique est plus importante dans les systèmes PIC (jusqu'à 17 espèces) par rapport aux systèmes de référence (10 espèces). De plus, contrairement au système de référence où les espèces hivernales d'adventices dominent (vulpin des champs et véronique), les flores des systèmes PIC sont caractérisées par une représentation à la fois d'espèces hivernales et printanières du fait de l'introduction de cultures de printemps dans la rotation. Ces expérimentations montrent qu'une combinaison raisonnée de techniques culturales permet de maintenir la flore adventice diverse à des densités qui n'engendrent le plus souvent pas de compétition importante avec la culture pour les ressources (eau, lumière, nutriments du sol). Néanmoins, les modifications nécessaires dans les systèmes pour contrôler les adventices (ex. semis retardé, variété plus étouffante) peuvent réduire les rendements en blé tendre d'hiver comparés à ceux obtenus en conduite conventionnelle (minimum 60.26 q/ha en système PIC et 73.60 q/ha en système de référence ; Augrain 2011). Les marges semi nettes moyennes (calculées en utilisant des prix moyens pour la vente des cultures et l'achat des engrais) des systèmes PIC sont également inférieures à celle du système conventionnel de référence (Augrain 2011). Ces différences s'expliquent par la diversification importante des rotations dans les systèmes dont les cultures sont choisies pour leur intérêt agronomique sans référence au prix de vente ni aux débouchés existants dans des filières locales. Cependant, les rotations diversifiées permettent d'assurer un revenu à l'agriculteur face aux aléas des cours des marchés internationaux.

### 1.2 Reconception des SdCs par modification de la rotation : exemple de l'insertion des prairies sur les adventices

Le degré de diversification des successions culturales affecte la composition des flores adventices. Les monocultures ou les successions culturales simplifiées permettent le maintien d'espèces spécialistes (Fried *et al.*, 2011) qui sont favorisées par la stabilité des cycles culturaux. A l'inverse, les rotations très diversifiées favorisent des espèces dites généralistes telles que *Stellaria media*, *Senecio vulgaris*, *Capsella bursa-pastoris*, *Anagallis arvensis*, qui possèdent des caractères leur permettant de s'adapter aux changements environnementaux (date de semis, ressources en azote ou en lumière) induites par les changements d'assolements. La diversification des successions culturales ou l'introduction de cultures pérennes peuvent alors constituer une stratégie alternative aux herbicides car elles permettent entre autres une diversification des périodes de semis.

L'introduction de cultures pérennes telles que la luzerne permet de diversifier les successions culturales. Des observations et des travaux expérimentaux ont mis en évidence une réduction de la densité des adventices, en particulier des graminées à germination hivernale, dans les cultures suivant les cultures fourragères pluri-annuelles (Sjursen, 2001 ; Albrecht, 2005 ; voir Munier-Jolain *et al.*, 2012 pour plus de détails), l'effet observé étant parfois cité comme aussi efficace, voire plus efficace que les traitements herbicides appliqués sur les parcelles témoin (Schoofs et Entz, 2000 ; Bellinder *et al.*, 2004). Dans le cadre du projet ADVHERB, une étude s'est poursuivie sur la zone atelier Plaine & Val de Sèvre pour quantifier l'effet de l'introduction de prairies sur la composition et la dynamique de flore adventice (Meiss *et al.*, 2010). Les résultats indiquent que l'insertion de prairies temporaires modifie substantiellement la flore adventice avec une diminution de l'abondance (1) des dicotylédones

annuelles à port érigé et grimpant, sensibles à la fauche de la prairie, telles que *Chenopodium album* ou *Fallopia convolvulus* et (2) des espèces très problématiques en systèmes céréaliers comme le vulpin, *Alopecurus myosuroides*, dans les blés implantés après luzerne. Ces résultats suggèrent que la flore adventice du blé serait filtrée par le précédent luzerne, avec une disparition des espèces non adaptées à la fauche, à l'absence de travail du sol et peu compétitrices (le maintien d'adventices en prairies nécessitant un potentiel fort de compétition). Cette étude met donc en évidence que l'insertion de prairies temporaires, comme la luzerne, dans des rotations céréalières permet de réduire les abondances d'espèces adventices indésirables dans les cultures annuelles tout en favorisant des espèces moins problématiques.

### 1.3 Reconception des SdCs par les acteurs : exemple de la zone atelier Plaine & Val de Sèvre

Les règles de décision de l'agriculteur sont le point de départ de la gestion d'une parcelle agricole et déterminent le système de culture. Une enquête a été conduite en 2010 sur le territoire de la zone atelier Plaine & Val de Sèvre pour caractériser les règles de décision d'agriculteurs peu consommateurs d'herbicides (Boissinot *et al.*, 2011). Près de 30 agriculteurs, choisis sur la base d'un gradient d'usage d'herbicides (8 agriculteurs Bio, l'IFT-Herbicide<sup>1</sup> variant de 0,4 à 3,1 pour les 20 « conventionnels ») ont été interrogés sur leurs pratiques. Cette enquête a mis en évidence de fortes variations entre les types d'exploitations pouvant se traduire par deux stratégies de réduction d'IFT Herbicides. La première stratégie « Efficience » est une réduction de dose tout en recherchant à optimiser l'efficience du traitement. La seconde stratégie « Re-conception » accompagne la réduction de dose d'une mobilisation de combinaisons techniques agronomiques générant des systèmes de culture défavorables aux espèces adventices. Les leviers agronomiques mobilisés sont l'intégration de prairies temporaires (luzerne ou ray-grass), une forte présence de cultures de printemps ou la réalisation de faux-semis successifs avant l'implantation d'une culture. Dans ces systèmes, la réduction de l'usage d'herbicides s'explique par la complexification du système qui génère un risque moins élevé d'infestation en adventices. De plus, la luzerne a un atout supplémentaire vis-à-vis des flux d'azote, de la consommation d'énergie et du résultat économique. Malgré ces résultats encourageants, l'introduction de la luzerne ne pourra être favorisée que si les marchés locaux s'organisent pour permettre de valoriser des productions végétales de diversification (Bretagnolle *et al.*, 2012). Ainsi, la durabilité de ces stratégies agronomiques émergentes se doit d'être évaluée sur des critères plus larges que l'objectif du contrôle des adventices.

## 2. Les avancées en termes d'outils pour l'évaluation agroécologique de systèmes de culture économes en herbicides

L'évaluation multicritère vérifie que les systèmes adoptés (ou en phase de conception) répondent non seulement aux objectifs initiaux (ici la réduction des herbicides sans nuire aux performances technico-économiques du système) mais aussi à différents enjeux du développement durable appartenant aux dimensions économique, sociale et environnementale. Une gamme de méthodes d'évaluation multicritère est disponible pour évaluer les systèmes de culture. On peut citer parmi elles des méthodes plus adaptées à la conception de systèmes de culture comme INDIGO pour des enjeux environnementaux ou MASC pour les trois dimensions de la durabilité (Bockstaller *et al.*, 2008). Dans le cadre d'ADVHERB, nous avons travaillé sur l'évaluation multicritère de nombreux systèmes en place en conditions expérimentales et dans le monde agricole. Les premières analyses suggèrent peu de corrélations ou d'antagonismes notamment entre le niveau d'IFT (respectivement IFT herbicide) et la rentabilité ou le niveau de consommation énergétique. Nous avons aussi travaillé au développement

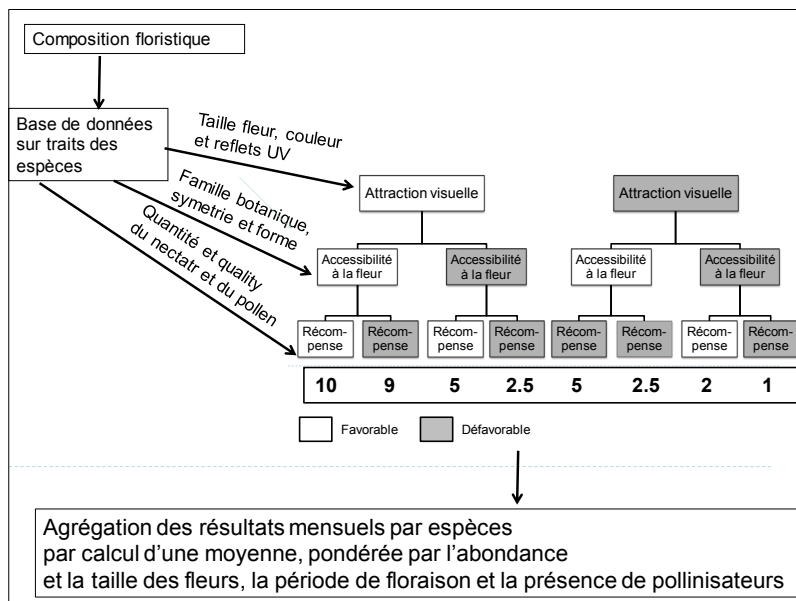
---

<sup>1</sup> Indice de Fréquence de Traitement herbicide

(i) d'indicateurs de biodiversité en lien avec la flore adventice et (ii) d'outils de prévision des flores et de l'interprétation des effets de cette flore en termes de nuisibilité et de valeur pour la biodiversité de l'agroécosystème. Ces développements ont été testés sur des systèmes expérimentaux ainsi que sur des systèmes de culture identifiés par enquête dans des exploitations agricoles et seront à la base d'une démarche de conception de systèmes de culture actuellement en voie de développement.

### 2.1. Des indicateurs de biodiversité en réponse au système de culture

L'évaluation de la biodiversité reste un point faible de beaucoup de méthodes d'évaluation multicritère, les indicateurs disponibles étant principalement basés sur des mesures de terrain lourdes à mettre en œuvre ou sur des variables de pratiques peu prédictives (Bockstaller *et al.*, 2011). Dans le cadre d'ADVHERB, nous nous sommes focalisés sur le développement de deux indicateurs, un indicateur d'abondance et de diversité microbienne (travail en cours) et un indicateur de valeur pollinisatrice des communautés adventices des bordures de champ, que nous présentons ici. A partir d'une revue bibliographique, nous avons identifié les traits clés des inflorescences favorables aux pollinisateurs et avons constitué une base de données en nous appuyant sur la base e-florasys (Plantureux et Amiaud, 2010). Ces traits ont été mis en classe en utilisant des sous-ensembles flous pour éviter les changements brutaux de classe. Enfin, nous avons construit des arbres de décision pour 3 composantes clés de la valeur pollinisatrice et un arbre final agrégeant ces composantes (Figure 1).

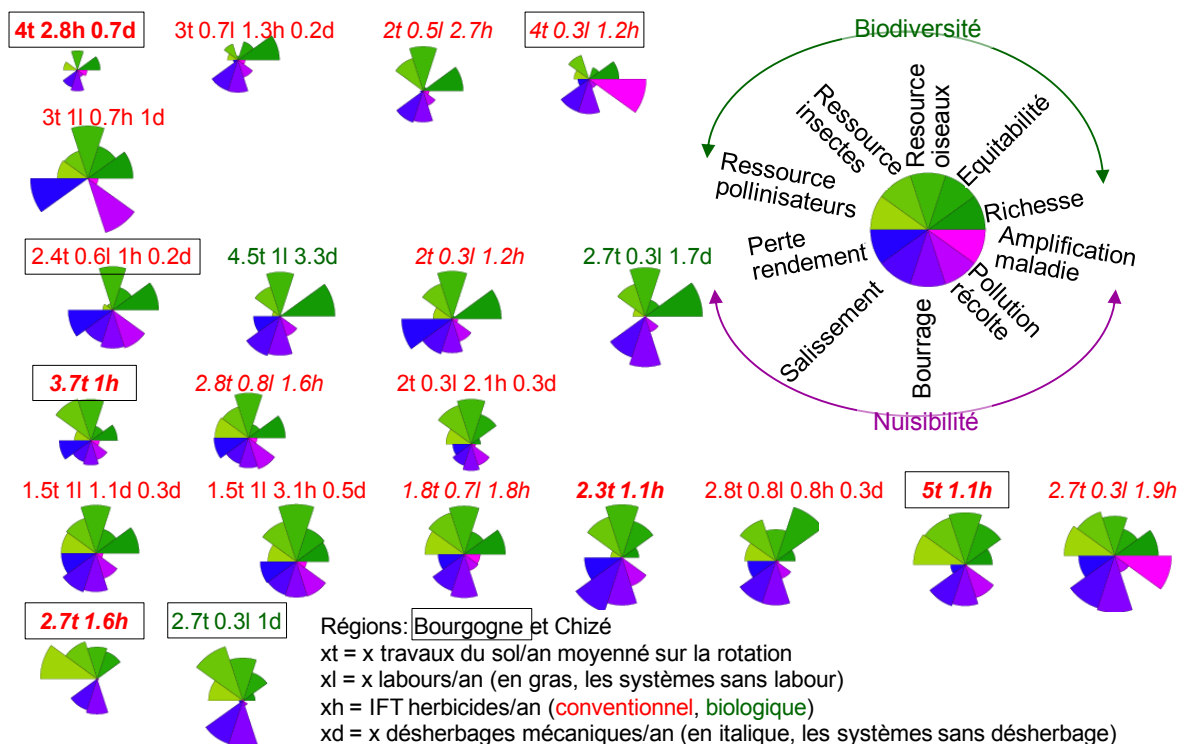


**Figure 1** : Vue d'ensemble de la structure de l'indicateur de valeur pollinisatrice (Bockstaller *et al.*, 2012).

Une valeur potentielle étant obtenue par espèce florale, nous avons proposé une méthode d'agrégation pour un couvert de bordure de parcelle par moyenne pondérée par l'abondance et la taille des fleurs, la période de floraison et la présence de pollinisateurs (abeilles domestiques et sauvages, bourdons, syrphes). Les premiers tests de validation par comparaison des valeurs d'indicateurs calculés sur des bordures avec des captures de pollinisateurs montrent des corrélations significatives pour les pollinisateurs sauvages, bourdons et syrphidés mais non pour les abeilles domestiques. Il est probable que celles-ci soient davantage attirées par des cultures mellifères (colza, tournesol) ou des structures arborées. Cet indicateur est à utiliser sur des relevés d'espèces mais peut aussi être couplé à des sorties de modèles prédictifs des populations d'adventices (cf. chapitre 2.2) ou estimant la présence d'espèces dans les bordures de champ (travaux en cours, Ricou *et al.*, 2011).

## 2.2 Modèles de prévision des flores et évaluation de l'effet de ces flores

Pour évaluer des systèmes de culture existants et prospectifs dans une large gamme de situations et à long terme, nous avons développé des modèles synthétisant et quantifiant les effets des systèmes de culture (succession culturale, itinéraire technique), en interaction avec les conditions pédoclimatiques (texture, conditions hydrothermiques du sol, climat journalier), sur la flore adventice (Munier-Jolain *et al.*; Colbach *et al.*, 2008; Gardarin *et al.*, 2012; Munier-Jolain *et al.*, in press). Dans le cadre du projet ADVHERB, ce modèle FLORSYS a été amélioré en y connectant des indicateurs reflétant à la fois (1) la nuisibilité de la flore adventice, réduisant la qualité et la quantité de la production agricole mais servant aussi de réservoir à d'autres bio-agresseurs, et (2) son rôle pour la biodiversité, la flore étant une composante importante de la biodiversité végétale et servant de bases trophiques à d'autres composantes de la biodiversité (Figure 2).



**Figure 2:** Évaluation multi-critère de différents systèmes de culture identifiés en Bourgogne et dans la zone atelier Plaine & Val de Sèvre à l'aide des indicateurs de nuisibilité et biodiversité simulés à l'aide de FLORSYS sur 30 années avec 10 répétitions climatiques. Les systèmes sont répartis sur 6 lignes, correspondant à 6 groupes identifiés par classification hiérarchique à partir des indicateurs (Mézière *et al.*)

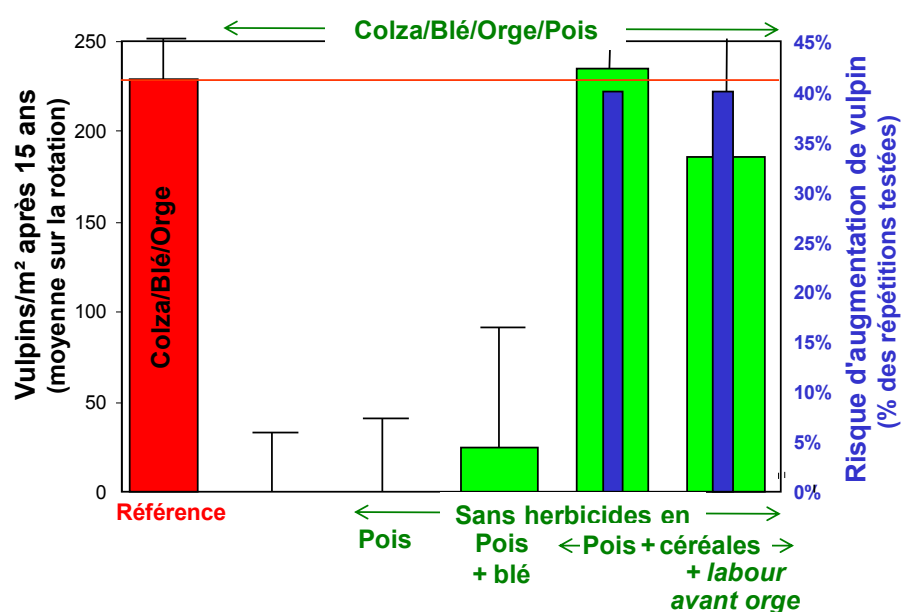
Pour tester ces indicateurs, une large gamme de systèmes de culture contrastés a été enquêtée puis simulée à l'aide de la nouvelle version de FLORSYS. Chaque système a ainsi été simulé sur 30 ans pour prendre en compte les effets long-terme, et répété dix fois avec des scénarios climatiques tirés au hasard provenant de la région d'origine du système. L'analyse des corrélations entre indicateurs a montré par exemple que la plupart indicateurs de nuisibilité sont corrélés positivement aux indicateurs de biodiversité, indiquant que les systèmes de culture qui maximisent la biodiversité sont aussi généralement ceux qui maximisent la nuisibilité des adventices. Cependant, la plupart de ces corrélations sont assez faibles, pointant vers une grande diversité de situations et donc vers la possibilité de trouver des systèmes qui maximisent la biodiversité tout en minimisant la nuisibilité de la

flore adventice. Dans un deuxième temps, les systèmes de culture ont été analysés pour identifier ceux qui permettent de concilier maximisation de la biodiversité et minimisation de la nuisibilité liée à la flore adventice. Tout d'abord, une typologie des systèmes a été créée, à partir des indicateurs de nuisibilité et biodiversité prédits par FLORSYS, distinguant par exemple les cas à forte biodiversité et nuisibilité sur l'ensemble des critères de ceux présentant une faible nuisibilité et une forte biodiversité (groupes 5 vs. 6, Figure 2). L'analyse rapide des caractéristiques des systèmes composant les différents groupes montre que chaque groupe comprend une diversité de systèmes, par exemple avec et sans labour, fort et faible IFT herbicides etc. Ceci laisse penser qu'il n'y a pas une solution unique pour concilier biodiversité élevée et faible nuisibilité, mais une diversité de systèmes permettant d'atteindre cet objectif.

### 2.3 Vers la conception de systèmes de culture pour la gestion intégrée de la flore adventice

La dernière étape sera la conception de systèmes de culture innovants permettant de concilier des objectifs potentiellement antagonistes, c'est-à-dire la réduction des herbicides et la préservation de la biodiversité tout en limitant la nuisibilité des adventices. Cette méthodologie a déjà été testée à l'aide du prototype monospécifique de FLORSYS, les objectifs ayant alors été la réduction des herbicides tout en contrôlant une adventice graminée nuisible, le vulpin (Colbach *et al.*, 2009).

Tout d'abord, des systèmes de culture de références ont été identifiés par enquête en exploitation agricole, puis simulée à l'aide du prototype ALOMYSYS (Colbach *et al.*, 2006; 2007; 2010). Ensuite, différentes modifications ont été testées. Ainsi, l'introduction d'un pois de printemps dans une rotation colza/blé/orge sans labour permet de réduire le vulpin à tel point qu'il est possible d'éliminer les herbicides anti-graminées en pois et en blé tout en maîtrisant l'infestation (Figure 3). Arrêter les herbicides anti-graminées également en orge n'accroît certes pas l'infestation moyenne comparée au système de référence, mais le risque de ne pas maîtriser le vulpin à long terme est de 40%, ce qui est inacceptable pour un agriculteur. Même l'introduction d'un labour dans la rotation ne permet pas de limiter ce risque. La meilleure option combinant réduction des herbicides et maîtrise des adventices nuisibles reste donc le système sans anti-graminées en pois et blé.



**Figure 3:** Évaluation d'un système de culture de référence identifié par enquête et cinq systèmes prospectifs pour leur impact sur l'infestation par le vulpin (basé sur Colbach *et al.*, 2009) à l'aide du modèle ALOMYSYS. Moyenne et écart-type de dix répétitions climatiques (axe de gauche) et pourcentage de répétitions avec une corrélation de Spearman positive entre la densité de vulpin et le temps (années 15-27, axe de droite) (Nathalie Colbach ©2012).



### 3. Identifier de nouveaux leviers agro-écologiques à intégrer dans la conception de systèmes agricoles à bas niveau d'usage herbicides

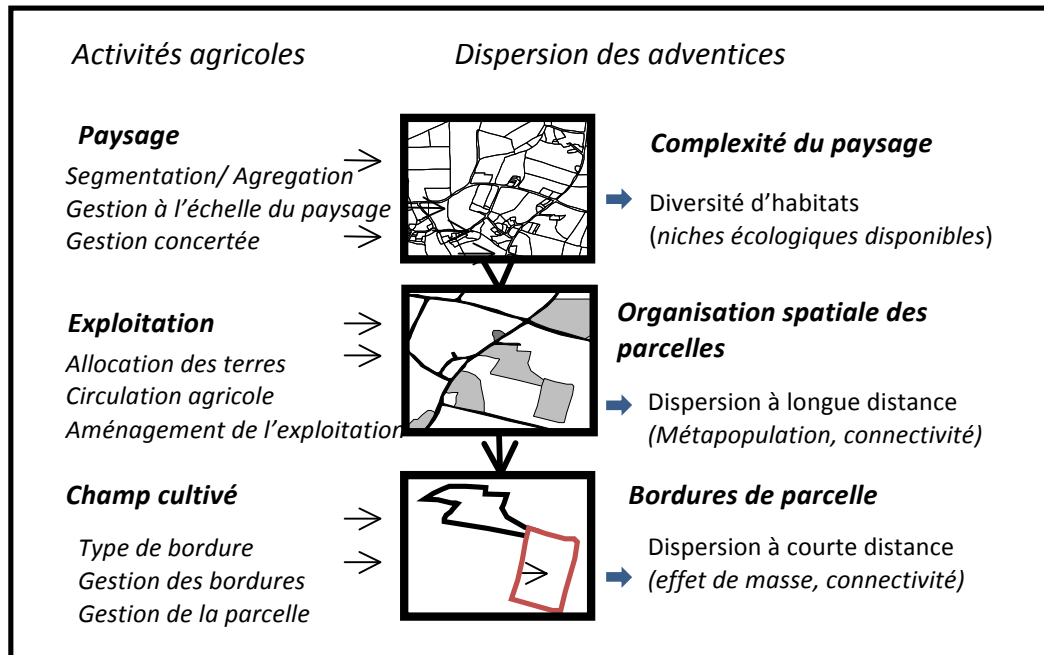
Une des finalités du projet ADVHERB a été de progresser vers une identification de leviers additionnels potentiels et non strictement agronomiques pour la gestion des adventices dans les systèmes à bas niveau d'usage d'herbicides. Nous avons ainsi cherché à identifier des déterminants de la richesse et abondance adventices qui soient autres que les pratiques agronomiques appliquées à la parcelle. Cette démarche a été mise en place en englobant (i) des échelles d'espace et de temps plus larges que la parcelle et (ii) l'effet des autres organismes de l'agrosystème sur les communautés adventices. On considère ainsi que les communautés observées résultent de l'effet d'un ensemble de « filtres » successifs (environnement, pratiques agricoles locales, structure et gestion à l'échelle de paysage, interactions avec d'autres communautés de l'agrosystème) qui excluent ou, au contraire, permettent à un assemblage particulier d'espèces de coloniser et de s'établir dans une parcelle donnée. Ce chapitre présente les avancées obtenues à partir d'approches d'observations menées à l'échelle de territoires.

#### 3.1 S'orienter vers une gestion multi-échelles des adventices

De façon traditionnelle, les agronomes malherbologues se sont focalisés sur l'impact de facteurs locaux (gestion de la parcelle) sur le risque d'infestation adventice (abondance) tandis que les écologues travaillant sur le modèle adventices se sont intéressés à l'effet de facteurs mesurés à des échelles spatiales plus larges sur la « biodiversité » adventice (richesse spécifique). L'émergence de nouvelles problématiques de gestion, par exemple l'expansion géographique de la résistance aux herbicides à l'échelle de territoires (Dauer, 2009), a quelque peu modifié ces positionnements disciplinaires. Les espèces adventices ne sont pas isolées dans des parcelles indépendantes ; des études récentes suggèrent qu'il existe des flux importants de propagules et de pollen dans le paysage agricole. On a observé par exemple une proportion importante de vulpins résistants aux herbicides dans des parcelles conduites en agriculture biologique depuis plusieurs années (Délye *et al.*, 2010). Une revue de la littérature sur la dispersion des propagules d'adventices menée dans le cadre du projet (Petit *et al.*, 2012) suggère que cette dispersion peut être naturelle mais semble être fortement liée aux activités agricoles que ce soit en termes d'échanges entre la parcelle et sa bordure (Cordeau *et al.*, 2012), de circulation d'engins agricoles au sein et entre exploitations agricoles et à des échelles plus larges de structuration spatiale de l'occupation du sol (Figure 4).

Les observations effectuées à l'échelle de paysages dans le projet ADVHERB suggèrent que les communautés adventices des parcelles cultivées répondent en effet à des déterminants qui agissent simultanément et en interaction à plusieurs échelles spatiales. Tout d'abord, il n'y a pas de correspondance spatiale nette entre la parcelle (unité de gestion avec historique unique de pratiques sur plusieurs années) et la communauté adventice qui s'y trouve (Alignier et Petit, 2012). Ainsi deux communautés adventices localisées dans deux parcelles voisines peuvent être plus similaires entre elles que deux communautés observées dans une même parcelle, pourvu qu'elles soient proches géographiquement. Cette similarité s'explique soit par des processus de dispersion entre localités voisines, soit par des variables environnementales importantes pour les adventices (pH ou humidité du sol), variables dont la distribution spatiale ne suit pas forcément le parcellaire agricole. D'autre part, si les pratiques agricoles locales ont un effet sur les communautés adventices, le contexte paysager d'une parcelle cultivée influence significativement la richesse et la diversité des communautés adventices. Ainsi, nous avons observé sur la zone atelier Plaine & Val de Sèvre et dans deux campagnes d'observation distinctes, une flore plus diversifiée pour le blé, dans les situations avec un parcellaire agricole environnant avec des petites parcelles et un assolement varié, que dans un contexte de grandes parcelles et une occupation du sol peu diversifiée (Gaba *et al.*, 2010). L'effet du contexte paysager sur l'abondance totale en adventices est par contre peu apparent. Ce résultat est important car les études ayant mis en évidence un effet de la structure du paysage sur les adventices comparaient des paysages très contrastés (Gabriel *et al.*, 2005). Or, nous avons pu détecter le même

signal sur un même territoire de céréaliculture intensive, donc relativement peu contrasté en termes de composition et structure de son paysage.



**Figure 4** : Les activités agricoles influencent la dispersion des adventices à plusieurs échelles spatiales (modifié d'après Petit *et al.*, 2012)

Ces résultats suggèrent donc bien un effet simultané et interactif de différentes échelles spatiales dans les processus qui expliquent les assemblages d'adventices observées en parcelle cultivée. Néanmoins, ils indiquent aussi que malgré la multitude des déterminants pris en compte dans nos analyses (ITK local, environnement proche et distant de la parcelle et leurs interactions), notre pouvoir de prédiction de la richesse ou de l'abondance des adventices dans une parcelle donnée reste relativement limité.

### 3.2 Prendre en compte les interactions avec d'autres communautés de l'agrosystème

Les communautés adventices sont en interaction avec de nombreuses autres espèces ou communautés de l'agrosystème (Petit *et al.*, 2010) et dans certains cas, ces interactions peuvent modifier la composition ou l'abondance des adventices en place dans une parcelle cultivée. Nous nous sommes intéressés dans le projet ADVHERB à une de ces interactions, la prédation des semences d'adventices par les invertébrés. Cette relation de prédation suscite en effet un intérêt croissant car l'importance des rares consommations mesurées *in situ* suggère que ce processus pourrait contribuer au contrôle naturel des adventices et par là même représenter un service écosystémique clé dans le contexte d'une mutation vers une agriculture minimisant sa dépendance aux phytosanitaires (Westerman *et al.*, 2006). Les recherches menées sur ce thème pendant le projet ont permis de mettre en évidence plusieurs points.

Une question importante était celle du potentiel de régulation des communautés adventices par les invertébrés via la prédation des graines. Dans le cadre d'une analyse nationale mettant en relation l'abondance d'invertébrés (ici des coléoptères carabiques) et l'évolution du stock de graines adventices sur deux années consécutives, ceci dans 256 parcelles de colza, maïs, betterave, nous avons montré que plus le nombre de carabiques dans une parcelle était important, plus faible était l'évolution du stock semencier entre deux années (Bohan *et al.*, 2011). Ce signal est robuste et existe dans les différents types de culture, sous différents itinéraires techniques et dans toutes les régions étudiées. Il suggère un

impact des carabes sur les adventices via la prédation des graines avant qu'elles ne réalimentent le stock semencier. Il n'indique pas pour autant que cette baisse soit suffisante pour infléchir significativement la démographie des différentes espèces adventices. Néanmoins, les carabiques étant une communauté extrêmement abondante dans les champs cultivés, on peut s'interroger sur les conséquences potentielles d'un déclin de ces prédateurs sur la gestion des adventices.

En parallèle, différentes mesures *in situ* de taux de graines consommées ont été effectuées en exposant des cartes de prédation au champ (Boursault, 2012). Ces mesures ont confirmé plusieurs hypothèses et les rares résultats déjà présents dans la littérature. Le premier est que cette prédation de graines est un processus générique observé dans toutes les parcelles suivies (un total de plus de 100 parcelles en Bourgogne) et qui s'étend sur toute la période d'activité des carabiques, d'Avril à Octobre. Le second point est que cette prédation est très préférentielle, c'est-à-dire que certaines adventices sont très consommées (*Viola arvensis*, *Capsella bursa-pastoris*) tandis que d'autres semences sont clairement évitées. L'estimation annuelle de perte de graines due à la prédation oscille ainsi de 10 à 60% en fonction de l'espèce adventice considérée et de la communauté de carabiques en place dans la parcelle. Une conséquence plausible de cette prédation préférentielle est que certaines espèces adventices sont bien plus affectées que d'autres dans leur démographie, ce qui engendrerait une modification de la composition de la communauté adventice en place. Finalement, l'amplitude de cette prédation est très corrélée à l'abondance d'invertébrés (notamment les coléoptères carabiques à régime alimentaire granivores et omnivores). Or, la diversité et l'abondance des carabiques sont tributaires des pratiques agricoles et du contexte paysager dans lequel ces prédateurs évoluent (Trichard *et al.*, in press). On s'attend donc à une variabilité importante du potentiel de régulation en fonction des caractéristiques agricoles et paysagères.

Ainsi, si le système de culture est un déterminant fort des communautés adventices en place, le contexte paysager et les autres communautés de l'agrosystème vont interférer directement et indirectement sur son effet. Ils représentent potentiellement des leviers de gestion agro-écologique des adventices. Ils devront donc être intégrés dans la conception de systèmes agricoles à bas niveau d'usage d'herbicides.

## Conclusion

Dans le cadre du plan ECOPHYTO, la réduction de la pression herbicide est inéluctable, même si les objectifs sont pour l'instant loin d'être atteints. Réduire les herbicides sans réduire les rendements, ni le revenu agricole, tout en augmentant la biodiversité dans les paysages agricoles ressemble à un défi, qui amène les différents acteurs (agriculteurs, organismes professionnels, filières, recherche, action publique etc.) à être pour le moins inventifs et innovants. La recherche a un rôle prépondérant à jouer sur le plan de la réflexion théorique en écologie et de l'innovation en termes d'ingénierie agronomique. Le projet ADVHERB a ouvert un certain nombre de pistes, qui doivent maintenant être testées en grandeur nature et sur le long terme.

## Références bibliographiques

- Albrecht H., 2005. Development of arable weed seedbanks during the 6 years after the change from conventional to organic farming. *Weed Research* 45, 339-350.
- Alignier A., Petit S., 2012 Factors shaping the spatial variation of weed communities across a landscape mosaic. *Weed Research* 52, 402-410
- Augrain C., 2011. Evaluation multi-critère de systèmes de culture contrastés. Rapport stage 3e année Ingénieur. UMR Agroécologie Dijon.

- Bellinder R.R., Dillard H.R., Shah D.A., 2004. Weed seedbank community responses to crop rotation schemes. *Crop Protection* 23, 95-101.
- Bockstaller C., Galan M.B., Capitaine M., Colomb B., Mousset J., Viaux P., 2008. Comment évaluer la durabilité des systèmes en production végétale ? In R. Reau, and T. Doré, (Eds.), *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer*: Dijon (France), Educagri, p. 29-51.
- Bockstaller C., Lasserre-Joulin F., Piutti S., Villerd J., Amiaud B., Plantureux S., 2011. Assessing biodiversity in arable farmland by means of indicators: an overview. *Oléagineux Crops gras Lipides*, 18, 137-144.
- Bockstaller C., Ricou C., Schneller C., Gaba S., Chauvel B., Amiaud B., Plantureux S., 2012. Assessing the pollination value of field margin flora by means of a predictive indicator. In F. Stoddard and P. Mäkelä (Eds.), the XII<sup>th</sup> ESA Congress. Helsinki (Finlande), August 20<sup>th</sup> - August 20<sup>th</sup> 2012, p. 110-111.
- Bohan D.A., Boursault A., Brooks D., Petit S., 2011. National-scale regulation of the weed seedbank by carabid predators. *Journal of Applied Ecology* 48, 388-398.
- Boursault A., 2012. Caractérisation des relations trophiques entre composantes d'un agroécosystème: le cas de la prédation des grains d'adventices. Thèse de l'Université de Bourgogne.
- Boissinot F., Mézière D., Bretagnolle V., Munier-Jolain N., 2011. Réduire l'usage des herbicides en grandes cultures. *Phytoma*, 649, 39-44.
- Bretagnolle V., Balent G., Thenail C., Berthet E., 2012. Gestion de la biodiversité en milieu céréalier intensif : importance des prairies aux échelles locales et régionales. *Innovations Agronomiques* 22, 31-43
- Colbach N., Dürr C., Roger-Estrade J., Chauvel B., Caneill J., 2006. ALOMYSYS: Modelling blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate - I. Construction. *European Journal of Agronomy* 24, 95-112.
- Colbach N., Chauvel B., Gauvrit C., Munier-Jolain N., 2007. Construction and evaluation of ALOMYSYS, modelling the effects of cropping systems on the blackgrass life-cycle. From seedling to seed production. *Ecological Modelling* 201, 283-300.
- Colbach N., Gardarin A., Granger S., Guillemin J.P., Munier-Jolain N., 2008. La modélisation au service de l'évaluation et de la conception des systèmes de culture intégrés. In: *Proceedings of Carrefour de l'Innovation*. (C. Huyghe, ed.) *Dijon, France, 2 décembre 2008*, 61-73.
- Colbach N., Granger S., Munier-Jolain N., 2009. Using weed dynamics models for evaluating and developing integrated cropping systems. In: *XIIIème Colloque international sur la biologie des mauvaises herbes*, Dijon, France, 195-205.
- Colbach N., Kurstjens D.A.G., Munier-Jolain N., Dulout-Dalbiès A., Doré T., 2010. Assessing non-chemical weeding strategies through a modelling approach applied to blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) dynamics. *European Journal of Agronomy* 32, 205-218.
- Cordeau S., Petit S., Reboud X., Chauvel B., 2012. The impact of sown grass strips on the spatial distribution of weed species in adjacent field margins and arable fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 155: 35-40.
- Dauer J.T., Luschei E.C., Mortensen D.A., 2009. Effects of landscape composition on spread of an herbicide-resistant weed. *Landsc. Ecol.* 24, 735-747.
- Délye C., Clément J., Pernin F., Chauvel C., Le Corre V., 2010. High gene flow promotes the genetic homogeneity of arable weed populations at the landscape level. *Basic Appl. Ecol.* 11, 504-512.
- Gaba S., Chauvel B., Dessaint F., Bretagnolle V., Petit S., 2010. Weed species richness in winter wheat increases with landscape heterogeneity. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 138, 318-323.
- Gabriel D., Thies C., Tschamtk T., 2005. Local diversity of arable weeds increases with landscape complexity. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 7, 85-93.
- Gardarin A., Dürr C., Colbach N., 2012. Modeling the dynamics and emergence of a multispecies weed seed bank with species traits. *Ecological Modelling* 240, 123-138.

- Hill S.B., MacRae R.J., 1995. Conceptual frameworks for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 7, 81-87.
- Meiss H., Médiène S., Waldhardt R., Caneill J., Bretagnolle V., Reboud X., Munier-Jolain N., 2010. Perennial lucerne affects weed community trajectories in grain crop rotations. *Weed Research*, 50, 331-340.
- Mézière D., Petit S., Granger S., Biju-Duval L., Colbach N., Année? Proposing a set of simulation-based indicators to assess services and disservices depending on in-field weeds in agroecosystems. in preparation.
- Munier-Jolain N., Deytieux V., Guillemin J-P., Granger S., Gaba S., 2008. Conception et évaluation multicritères de prototypes de systèmes de culture dans le cadre de a protection intégrée contre la flore adventice en grandes cultures. *Innovations Agronomiques* 3, 75-88.
- Munier-Jolain N., Médiene S., Meiss H., Boissinot F., Rainer W., Canneill J., Bretagnolle V., 2012. Rôle des prairies temporaires pour la gestion de la flore adventice dans les systèmes céréaliers. *Innovations Agronomiques* 22, 71-84.
- Munier-Jolain N., Collard A., Busset H., Guyot S. H. M., Colbach N., (submitted) Modelling the morphological plasticity of weeds in multi-specific canopies. *Field Crops Research*,.
- Munier-Jolain N., Guyot S.H.M., Colbach N., 2013. A 3D model for light interception in heterogeneous crop:weed canopies. Model structure and evaluation. *Ecological Modelling* (sous presse).
- Petit S., Boursault A., Le Guilloux M., Munier-Jolain N., Reboud X., 2011. *Weeds in agricultural landscapes : a review*. *Agronomy for Sustainable Development* 31, 309-317
- Petit S., Alignier A., Colbach N., Joannon A., Thenail C., 2013. *Weed dispersal by farming activities across spatial scales*. *Agronomy for Sustainable Development* 33, 205-217.
- Plantureux S., Amiaud B., 2010. e-FLORA-sys, a website tool to evaluate the agronomical and environmental value of grasslands, 23th General Meeting of the European Grassland Federation. Kiel (Allemagne), August 29-September 2010.
- Ricou C., Amiaud B., Plantureux S., Bockstaller C., 2011. The development of a predictive indicator to assess the effect of agricultural practices on plant diversity in margin strips and their ecosystemic services (pollination and conservation flora). 4th workshop of the EWRS Working group Weeds and Biodiversity. Dijon (France), 28 February - 2 March 2011, AgroSup Dijon, INRA, p. 35.
- Schoofs A., Entz M.H., 2000. Influence of annual forages on weed dynamics in a cropping system. *Canadian Journal of Plant Science* 80, 187-198.
- Sjursen H., 2001. Change of the weed seed bank during the first complete six-course crop rotation after conversion from conventional to organic farming. *Biological Agriculture and Horticulture* 19, 71-90.
- Trichard A., Alignier A., Biju-Duval, L., Petit S., 2013. The relative contribution of local management and landscape context on weed seed predation service. *Basic & Applied Ecology* (sous presse).
- Westerman P.R., Liebman M., Heggenstaller A.H., Forcella F., 2006. Integrating measurements of seed availability and removal to estimate weed seed losses due to predation. *Weed Science* 54, 566-574.