

Végéphy – 24^e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
ORLÉANS – 3, 4 et 5 DÉCEMBRE 2019

**IMPACT DES CULTURES INTERMÉDIAIRES SUR LES ADVENTICES DANS DES SYSTÈMES DE CULTURE
ALTERNATIFS A LA MONOCULTURE DE MAÏS CONVENTIONNELLE**

C. DESWARTE^a*, S. GIULIANO^a, F. PERDRIEUX^a

^a: AGIR, Université de Toulouse, INRA, INPT, INP-PURPAN, Castanet-Tolosan, France

correspondance : cyrielle.deswarte@purpan.fr

RESUME

Afin d'évaluer l'impact de l'introduction de cultures intermédiaires sur la flore adventice en systèmes de culture (SdC) à base de maïs, des suivis de flore adventices à l'interculture et durant le cycle de maïs ont été réalisés sur quatre SdC mis en œuvre de 2011 à 2017 sur le Domaine de Lamothe (Haute Garonne) : (i) un SdC conventionnel en monoculture de maïs «**MM_{Conv}**», (ii) un SdC à bas niveau d'intrants «**MM_{Eco}**», (iii) un SdC en rotation courte de trois ans maïs/soja/blé «**RC**» et (iv) un SdC en semis direct «**MM_{SD}**» en monoculture de maïs. Les suivis de biomasses adventices à destruction des cultures intermédiaires (réalisés entre mi-mars et fin avril selon les années et les SdC) révèlent des différences : 8,6 g MS.m⁻² pour MM_{Conv}, 15,8 g MS.m⁻² pour MM_{Eco}, 11,3 g MS.m⁻² pour RC et 19,5g MS.m⁻² pour MM_{SD}. Ces différences sont en partie dues à des différences de composition. Les espèces adventices qui dominent à la destruction de la culture intermédiaire sont *Avena fatua* sur MM_{Conv}, *Avena fatua* et *Sonchus* sp. sur MM_{Eco}, *Senecio vulgaris*, *Veronica arvensis* et *Sonchus* sp. sur MM_{SD}, tandis que sur le système en rotation courte, peu d'espèces dominent. Cependant les espèces d'adventices retrouvées à l'interculture dans ces systèmes diffèrent de celles retrouvées durant la culture de maïs : la biomasse adventice de *Polygonum persicaria* est la plus élevée à maturité du maïs est dans les SdC MM_{Conv} (5,5 g MS.m⁻²) et MM_{Eco} (18,1 g MS.m⁻²) et RC (30,3 g MS.m⁻²) tandis il s'agit de *Echinochloa crus-galli* dans les SdC MM_{SD} (127,5 g MS.m⁻²). Ces espèces sont quasiment absentes des relevés effectués dans les cultures intermédiaires.

Mots-clés : biomasse, interculture, couvert végétal, système de culture à bas niveau d'intrants

ABSTRACT

Weed monitoring during intercropping and during the maize cycle were carried out on four CS implemented from 2011 to 2017 on the Domaine de Lamothe (Haute Garonne, France) in order to assess the impact of cover crops on the evolution of the weed in maize based cropping systems (Cropping Systems (CS)): (i) "**MM_{Conv}**" a conventional maize monoculture, (ii) "**MM_{Eco}**" a low-input CS– (iii) "**RC**" maize managed similar to MM_{Eco} but rotated with soybean and wheat- (iv) "**MM_{SD}**" Conservation Tillage in maize monoculture. The monitoring of the weed biomass after the destruction (between March and April depending on the CS) of the cover crops revealed differences : : 8.6 g DM.m⁻² for MM_{Conv}, 15.8 g DM.m⁻² for MM_{Eco}, 11.3 g DM.m⁻² for RC et 19.5 g DM.m⁻² for MM_{SD}. Dominant species have been identified : *Avena fatua* on MM_{Conv}, *Avena fatua* and *Sonchus* sp. on MM_{Eco}, *Senecio vulgaris*, *Veronica arvensis* and *Sonchus* sp. on MM_{SD} While on CS RC, few species. However, the weed species found at intercropping differs from those found during maize cycle: biomass of *Polygonum persicaria* is the highest in the SdC MM_{Conv} (5.5g DM.m⁻²) and MM_{Eco} (18.1 g DM.m⁻²) and RC (30.3 g DM.m⁻²) while it is *Echinochloa crus-galli* in MM_{SD} (127.5 g DM.m⁻²). These species are almost absent from surveys in cover crops.

Keywords: biomass, intercrop, cover crop, low input cropping system

INTRODUCTION

Les herbicides représentent 78 % de l'indice de fréquence de traitement total (IFT) en culture de maïs (Aymard *et al.*, 2014). La lutte chimique est de plus en plus controversée dans le contexte actuel de pollution des eaux souterraines et de surface (Voltz et Louchart, 2011). La baisse du nombre de substances actives disponibles et la diminution de l'efficacité des produits phytopharmaceutiques justifient par ailleurs la recherche de nouvelles pratiques. Les cultures intermédiaires peuvent être une solution de régulation biologique des adventices par leurs effets directs (compétition pour l'eau, la lumière, l'azote) et indirects (perturbation du cycle des adventices) (Cordeau et Moreau, 2017). Cependant, la majorité des études qui démontrent que les cultures intermédiaires sont à l'origine d'une diminution de la biomasse adventice ne prennent pas en compte l'ensemble des combinaisons techniques du Système de Culture (SdC) en contexte de monoculture de maïs. De plus, l'effet des cultures intermédiaires sur les communautés adventices sur la culture suivante n'est pas toujours mis en évidence (Teasdale, 1996 ; Håkansson, 2003).

La présente étude se propose d'évaluer expérimentalement l'effet de l'introduction de cultures intermédiaires au sein de systèmes de culture maïsicoles sur la communauté d'adventices durant l'interculture et au cours de la culture suivante.

MATERIELS ET METHODES

L'étude a été conduite de 2011 à 2017 sur la plateforme agronomique du Domaine de Lamothe, INP PURPAN, Seysses (Haute-Garonne). La pluviométrie annuelle moyenne est de 635 mm. La majorité des précipitations se concentrent sur les mois de février à mai avec un déficit hydrique en période estivale (de juin à août). L'expérimentation se trouve sur une zone à fort potentiel par rapport à la petite région agricole : sol profond (120 à 150 cm) non caillouteux et non battant mais sensible à l'hydromorphie en hiver et au début du printemps. Le type de sol est de type limono-argileux à argilo-limoneux (teneur en argile variant de 25 à 45 %). Chaque SdC est présent sur deux répétitions, chaque parcelle mesure 720 m² (12 x 60 m). Il s'agit d'un dispositif en deux blocs randomisés complets. Sur les systèmes en rotation « RC », chaque culture (maïs, blé et soja) est présente sur les deux blocs chaque année ; c'est-à-dire qu'il y a trois parcelles par bloc dédiée à la rotation courte.

Les quatre SdC étudiés sont (tableau I) :

- « **MM_{conv}** » une Monoculture de Maïs (MM) de référence s'approchant des références du Sud-Ouest. L'objectif est de maximiser la marge brute. L'itinéraire technique est caractérisé par un labour annuel, un désherbage chimique exclusif, un apport de 160 U d'azote minéral et un sol nu durant l'interculture jusqu'en 2016.
- « **MM_{EcoPhyto}** » une MM à bas niveau d'intrants dont les objectifs sont de répondre au plan EcoPhyto (abaisser l'IFT de 50%). L'itinéraire technique est caractérisé par un labour annuel, désherbage mixte (mécanique + chimique) : un herbi-semis suivi d'1 à 2 passage(s) de bineuse parfois complété par un désherbage chimique, un apport de 130 U d'azote et un couvert de

ray grass (*Lolium hybridum*) et trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum*) semé sous couvert du maïs au stade 6-8 feuilles.

- « **RC** » une rotation courte de trois ans de type maïs/soja/blé. Seul le maïs est suivi dans cette étude. Le travail du sol, le désherbage et la fertilisation du maïs est conduit de la même manière que pour le SdC MM_{EcoPhyto}. En revanche, il n'y a pas de semis de culture intermédiaire sous couvert de maïs. Dans la rotation, le blé tendre est suivi d'un semis d'une culture intermédiaire composée de vesce commune (*Vicia sativa*) et de moutarde blanche (*Sinapis alba*) qui est présentée dans cette étude.
- « **MM_{SD}** » une monoculture de maïs en semis direct de maïs avec désherbage chimique exclusif dans une culture intermédiaire de féverole d'hiver (*Vicia faba*) détruite (mécaniquement et chimiquement) lors du semis du maïs et un apport moyen de 100 U d'azote.

Tableau I : Règle de décisions appliquées pour la gestion des cultures intermédiaires selon les systèmes de culture.
(Cover crop management depending on the cropping system)

Sdc	Culture intermédiaire	Date de semis de la culture intermédiaire	Date de destruction	Mode de destruction
MM _{Conv}	Sol nu			
MM _{EcoPhyto}	16 kg/ha de trèfle incarnat (<i>Trifolium incarnatum</i>) 3kg/ha de ray-grass hybride (<i>Lolium hybridum</i>)	sous couvert du maïs au stade 6-8 feuilles (mi juin)	mi-mars	Mécanique (labour)
RC	20 kg/ha de moutarde blanche (<i>Sinapis alba</i>) 20 kg/ha de vesce commune (<i>Vicia sativa</i>)	entre mi-août et mi-septembre	mi-mars	Mécanique (labour)
MM _{SD}	100 kg/ha de féverole d'hiver (<i>Vicia faba</i>)	entre mi octobre-et début novembre	lors du semis du maïs (fin avril-mi mai)	Mixte : mécanique (rouleau faca) + chimique (Round up 3L/ha)

Les doses de semis de couverts sont moyennées car des ajustements ont été réalisés au cours des campagnes. Les mesures de biomasses aériennes des couverts et des adventices présentes sont réalisées avant destruction du couvert sur quatre quadrats fixes de 0,5 m² par parcelle, soit 8 mesures par SdC par an. Les mesures de biomasses adventices sont réalisées à maturité du maïs sur deux quadrats fixes de 1 m² de 2011 à 2013, puis sur quatre quadrats fixes de 0,5 m² par parcelle de 2014 à 2017.

Le quadrat est l'unité statistique utilisée dans l'analyses de données. Le modèle suivant a été utilisé pour l'analyse de variance de variance : $X_{ij} = \mu + SdC_i + année_j + \varepsilon_{ij}$ où X_{ij} représente la biomasse totale du couvert (ou la biomasse adventices) pour le SdC_i et l'année_j. Les analyses de variances et tests de comparaison multiples ont été effectuées avec le logiciel R 2.14.1 (Team, 2013)

RESULTATS

Biomasse des cultures intermédiaires avant destruction selon les systèmes des cultures

La biomasse du couvert à destruction de MM_{SD} est de $2,9 \pm 1,6$ T de MS/ha, supérieure à celle mesurée dans MM_{Ecophyto} ($2,1 \pm 0,7$ T MS/ha), elle-même supérieure à celle mesurée dans RC ($1,0 \pm 0,6$ T MS/ha) (figure 1). Dans les couverts en mélange bispécifique (MM_{Ecophyto} et RC), la biomasse des espèces non-légumineuses représentent 75% de la biomasse totale du couvert.

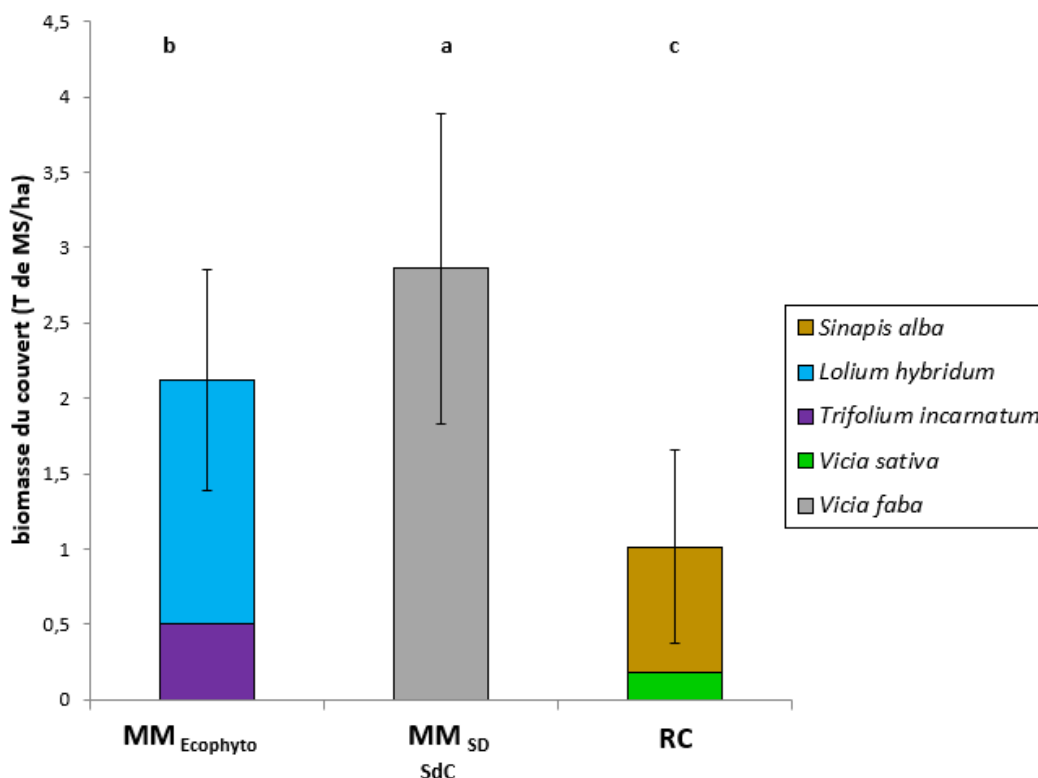


Figure 1 : Biomasse moyenne aérienne des couverts (T MS/ha) à destruction entre 2011 et 2017 selon le système de culture. Les lettres mettent en évidence des différences significatives des biomasses totales selon un test LSD de Fisher et les barres d'erreurs les écarts-types. (Cover crop biomass (T DM/ha) at destruction between 2001 and 2017. Letters highlight significant differences of cover crop biomass according to a Fisher LSD test and error bars standard deviations)

L'ANOVA met en évidence l'effet du système de culture (p -value<0,001) et de l'année (p <0,001) sur la biomasse du couvert. Le test de comparaison de moyennes Fisher-LSD avec un risque d'erreur α à 5% met en évidence des différences significatives selon les SdC. Trois groupes statistiques sont mis en évidence séparant la biomasse des couverts selon les Sdc (tableau II). Trois groupes statistiques mettent aussi en avant des différences significatives selon les années : la biomasse moyenne des couverts est la plus élevée sur la campagne 2016-2017 (en moyenne $3,4 \pm 1,5$ T/ha) tandis que sur la campagne 2011-2012 il s'agit de la biomasse la plus faible (en moyenne $0,3 \pm 0,15$ T/ha).

Tableau II : Analyse des différences entre les systèmes de cultures avec un intervalle de confiance à 95% (Fisher LSD).
(Analysis of differences depending on cropping systems with a 95% confidence interval (Fisher LSD))

Contraste biomasse couvert (T MS/ha)	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
RC vs MM SD	-1,845	-7,070	1,987	< 0,0001	Oui
RC vs MM Ecophyto	-1,102	-3,894	1,987	< 0,001	Oui
MM Ecophyto vs MM SD	-0,743	-2,846	1,987	0,006	Oui

Impact des systèmes de cultures sur la production de biomasse à l'interculture

Quatre-vingts espèces d'adventices recensées ont été identifiées entre 2011 et 2017.

Certaines espèces dominent en termes de biomasse dans les trois systèmes en monoculture de maïs (MM_{Conv}, MM_{Ecophyto}, MM_{SD}). En effet, *Avena fatua* représente 42 % de la biomasse adventice sur MM_{Conv}, *Avena fatua* et *Sonchus* sp. dominant avec 40 % de la biomasse du couvert sur le MM_{Ecophyto}, tandis que *Veronica arvensis*, *Senecio vulgaris* et *Sonchus* sp. représentent 56 % de la biomasse du couvert de MM_{SD}. Sur RC, peu d'espèces dominent en termes de biomasse (figure 2).

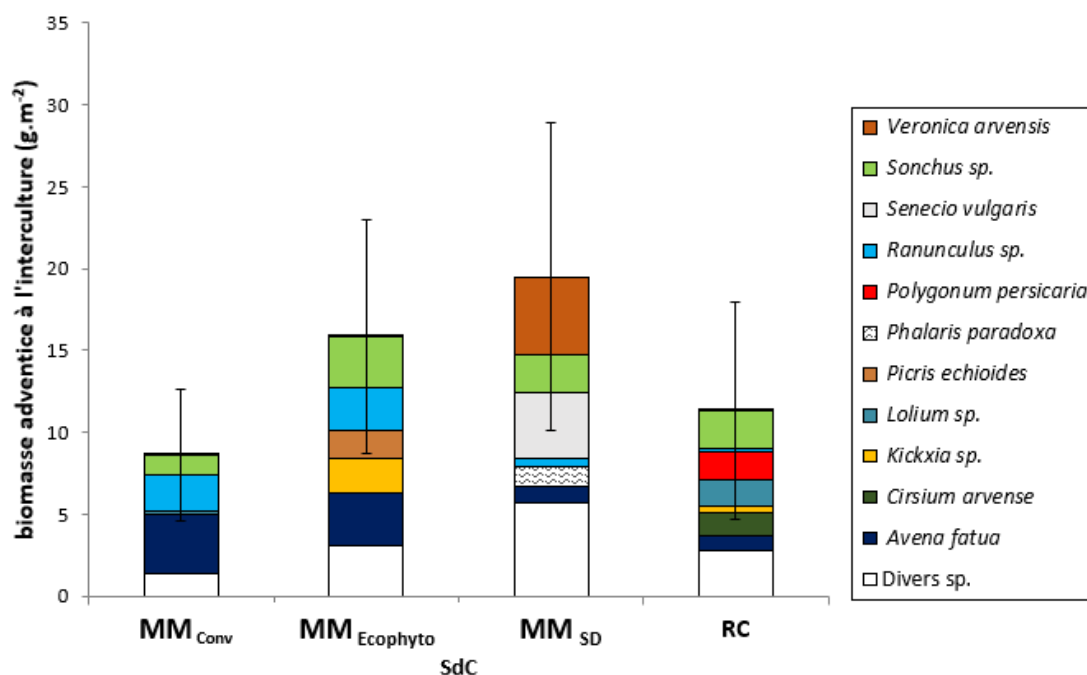


Figure 2 : Biomasse adventice (g.m⁻²) selon le système de culture avant destruction du couvert. Les barres d'erreurs représentent les écarts-types.
(Weed biomass (g.m⁻²) depending on cropping system before cover crops destruction. error bars represent standard deviation)

Le profil d'adventices retrouvées sur MM_{Conv} et MM_{Ecophyto} est similaire : forte présence de graminées comme *Avena fatua* et dicotylédones annuelles comme *Ranunculus* sp. tandis que dans MM_{SD}, peu

de graminées sont présentes mais une présence importante de trois dicotylédones annuelles *Anagallis arvensis*, *Veronica arvensis* et *Sonchus* sp. Sur le système en rotation courte (RC), une flore diversifiée est présente.

Impact des systèmes de culture sur la flore adventice durant l'interculture

La biomasse adventice lors de la destruction des cultures intermédiaires est de $8,6 \pm 1,1$ g MS .m⁻² pour MM_{Conv}, $15,8 \pm 2,2$ g MS.m⁻² pour MM_{Ecophyto}, $11,3 \pm 3,1$ g MS .m⁻² pour RC et $19,5$ g MS.m⁻² $\pm 2,8$ pour MM_{SD}. La moyenne de biomasse adventice du système en sol nu (MM_{Conv}) est la plus faible alors qu'elle est triplée sur le système en semis direct avec le couvert de féverole (MM_{SD}).

L'ANOVA met en évidence l'effet du SdC (p-value<0,01) sur le pourcentage de biomasse adventices sur la biomasse totale (biomasse adventice + biomasse couvert). Le test de comparaison de moyennes Fisher-LSD avec un risque d'erreur α à 5% met en évidence des différences significatives selon les SdC (figure 3). Le pourcentage biomasse adventice/biomasse (totale) des systèmes de culture MM_{Ecophyto} et MM_{SD} est situé dans le même groupe statistique tandis que le système RC est dans un autre groupe statistique.

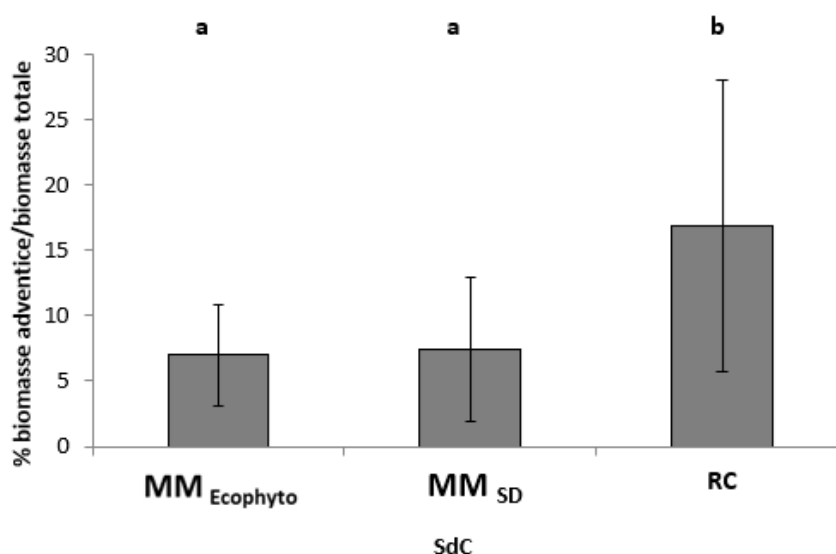


Figure 3 : Distribution des rapports de biomasse (adventices/adventices +couverts) en fonction des systèmes de culture. Les lettres mettent en évidence des différences significatives des biomasses totales selon un test LSD de Fisher et les barres d'erreurs les écarts-types (Distribution of biomass ratios (weeds / weeds + cover crop) based on cropping systems. Letters highlight significant differences of cover crop biomass according to a Fisher LSD test and error bars standard deviations)

En proportion par rapport à la biomasse du couvert, il y a deux fois plus d'adventices dans le système en rotation courte que dans les systèmes en monoculture de maïs en s'expliquant en particulier par une biomasse du couvert sur la rotation courte plus faible.

Impact des systèmes de culture sur la flore adventice à maturité du maïs

Entre 2011 et 2017, la biomasse adventice moyenne à maturité la plus faible est retrouvée sur le système MM_{Conv} ($19,9 \pm 2,9$ g MS.m⁻²), tandis que la plus élevée est celle du système pour MM_{SD} ($166,9 \pm 52,4$ g MS.m⁻²). Les biomasses adventices pour les SdC MM_{Ecophyto} et RC sont à des niveaux similaires, respectivement $67,5 \pm 8,1$ g MS .m⁻² et $57,6 \pm 5,0$ g MS .m⁻². Les analyses de variance ne mettent pas évidence l'effet du système de culture, ni de l'année sur la biomasse adventice à maturité du maïs (figure 4).

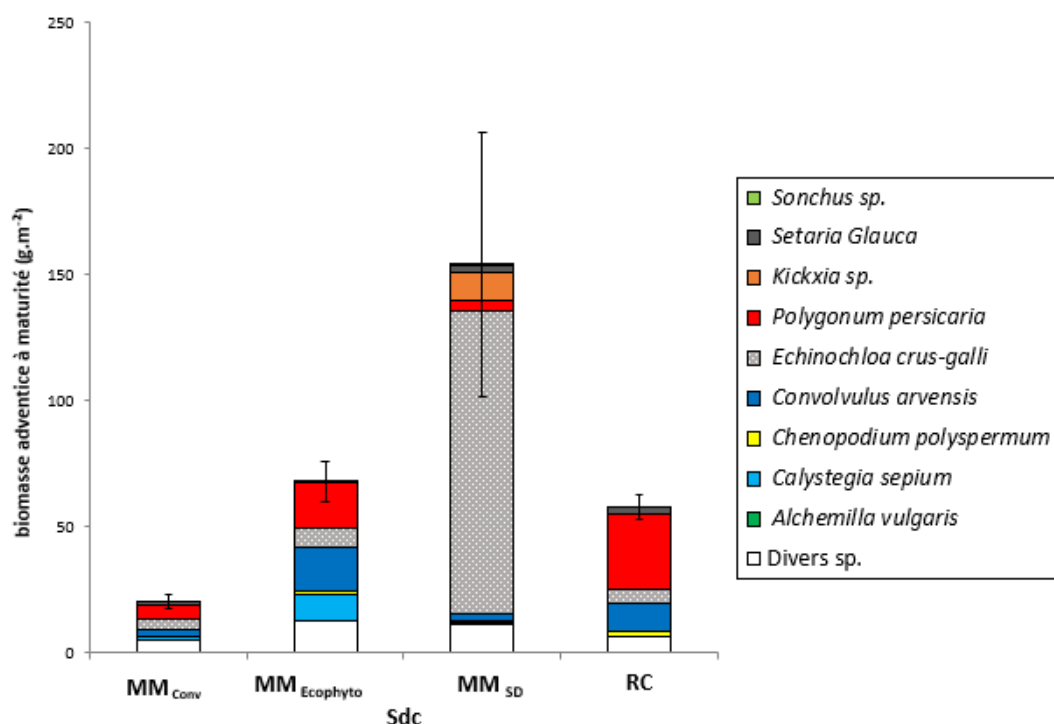


Figure 4 : Biomasse aérienne des adventices (g.m⁻²) à maturité du maïs et composition des communautés adventices par système de culture entre 2011 et 2017. Les barres d'erreurs représentent les écarts-types.

(Weed biomass (g.m⁻²) at maize maturity depending on cropping system between 2011-2017. Error bars represent standard deviations)

Les adventices retrouvées diffèrent de celles retrouvées à l'interculture. Certaines espèces dominent : dans le système MM_{Conv}, *Polygonum persicaria* représente 27 % de la biomasse adventice totale, 52 %, dans le système RC (figure 4). Il s'agit de l'espèce qui domine sur ces deux systèmes. Alors que dans le système MM_{Ecophyto}, *Polygonum persicaria* et *Echinochloa crus-galli* représentent chacune 38 % de la biomasse adventice totale dans le système.

Sur le système en semis direct, le système de culture MM_{SD}, *Echinochloa crus-galli* représente 71 % de la biomasse adventice à maturité alors que durant la période de l'interculture peu de graminées étaient recensées sur ce système.

DISCUSSIONS

Un effet variable des couverts sur la flore adventice durant l'interculture

Des différences de biomasse des couverts au moment de la destruction ont été mises en évidence. Selon le type d'espèces implantées, le développement du couvert diffère. De plus, la date d'implantation et la durée de l'interculture sont déterminantes pour permettre d'accumuler suffisamment de degrés-jours pour maximiser la biomasse du couvert (Mirsky *et al*, 2013). Dans le cas de MM_{EcoPhyto}, le nombre de degrés-jours accumulé est en moyenne de 750 (DJ, base 0°C) à l'origine d'une biomasse de 2,1 T de MS/ha. Pour le système de culture MM_{SD}, le nombre de degré-jour est de 877 (DJ, base 0°C) avec une destruction plus tardive qui permet un développement optimal de la féverole. Pour le couvert du SdC RC, le nombre de degrés jours est plus faible 598 (DJ, base 0°C) à l'origine d'un développement moins important du couvert. Le type de couvert, les conditions météorologiques combinées à l'apprentissage des techniques culturales liées aux couverts expliquent la variabilité des biomasses des couverts au cours des campagnes d'expérimentations (Cristofari, 2018).

Le type d'implantation, la densité, la date de semis, la vitesse de levée et la régularité du développement des couverts végétaux sont des facteurs à prendre en compte dans la gestion des couverts végétaux (Labrada, 2006 ; Bertrand *et al*, 2008). Certaines études montrent que la quantité de biomasse de la culture intermédiaire peut être reliée au niveau de contrôle des adventices (Teasdale, 1996). Or, la biomasse du couvert de féverole du système MM_{SD} est la plus élevée mais n'entraîne pas forcément une biomasse adventice plus faible.

La compétition pour les ressources limitantes (lumière, eau, nutriments) n'est pas suffisante dans le cas du couvert monospécifique de féverole du système de culture MM_{SD}. D'autre part, les légumineuses peuvent même favoriser la levée d'adventices par leur azote résiduel (Mohler et Teasdale, 1993). Un couvert bispécifique peut garantir une meilleure compétitivité par la complémentarité des traits fonctionnels des différentes espèces de couverts (Tribouillois *et al*, 2017). Dans le cas des couverts en association légumineuses/non légumineuses des système MM_{EcoPhyto} ou RC, la biomasse des couverts est plus faible mais la biomasse adventice semble davantage maîtrisée. Cependant, le lien cultures intermédiaires/adventices ne peut pas clairement être mis en évidence car d'autres facteurs à l'échelle du système de culture qui influencent la flore adventice (Swanton *et al*, 1991). Dans le système en sol MM_{conv}, la faible biomasse adventice peut s'expliquer par des conditions non favorables à la levée d'adventices car il n'y pas de travail du sol après la récolte du maïs comme (par exemple la préparation d'un lit de semences pour le semis des cultures intermédiaires).

Un effet prononcé des pratiques culturales sur les adventices en culture

Les espèces majoritaires d'adventices à maturité du maïs sont quasiment absentes des relevés effectués dans les cultures intermédiaires. Les périodes de germination des adventices sont en lien avec leurs préférences écologiques ainsi les couverts concurrencent des adventices automnales différentes de celles qui lèveront dans la culture de maïs suivante (Cordeau et Moreau, 2017). Les relevés précoces au stade 8 feuilles dans la culture de maïs n'ont pas été présentées dans cette étude

mais permettraient de mieux évaluer la concurrence des couverts vis-à-vis des adventices en début de cycle du maïs.

Les pratiques culturales des différents systèmes de culture jouent un effet plus prononcé sur la gestion des adventices (Swanton *et al*, 1991) : l'effet du labour avant l'implantation du maïs peut s'avérer plus efficace sur les adventices (notamment sur les graminées) que l'introduction des cultures intermédiaires (Métais *et al*, 2017) : la biomasse adventice est plus faible dans la culture suivante après un labour dans les MM_{Conv} et MM_{Eco}phyto par rapport à MM_{SD}. Cependant, la mise en place d'un système en semis direct réduit la présence de certaines espèces dicotylédones annuelles présentes dans les systèmes en labour (par ex. *Polygonum persicaria*) (Carter *et al*, 2006) mais peut en revanche favoriser aussi l'émergence de graminées estivales comme *Echinochloa crus-galli* (Adeux *et al*, 2017). Ce constat est en accord avec les études de Debaeke et Orlando (1994) où une augmentation de l'abondance des graminées durant le cycle de culture dans des systèmes avec travail superficiel ou semis direct sans travail est observée tandis que l'abondance des espèces dicotylédones augmente avec le travail du sol.

Sur le système en rotation courte, la flore adventice retrouvée est diversifiée : l'effet du labour associé à l'alternance culture de printemps et d'hiver à l'échelle de la rotation joueraient un rôle important (Liebman et Dyck, 1993). Cependant, la présence d'une culture hivernale (blé tendre) dans la rotation courte laissait supposer une présence plus importante de graminées durant l'interculture, notamment le ray-grass adventice dominante dans le blé. Ces graminées hivernales sont quasiment absentes des relevés dans les cultures intermédiaires.

CONCLUSION

Sur les quatre systèmes de cultures étudiées, l'impact des cultures intermédiaires sur la flore adventice montre des résultats contrastés. Si la gestion intégrée de la flore adventice passe par la mobilisation de nombreux leviers complémentaires comme l'introduction de cultures intermédiaires, les pratiques culturales (comme le travail du sol) ont un effet plus prononcé sur certaines adventices.

BIBLIOGRAPHIE

- Adeux G., Giuliano S., Cordeau S., Savoie J., Alletto L., 2017 - Low-Input Maize-Based Cropping Systems Implementing IWM Match Conventional Maize Monoculture Productivity and Weed Control. *Agriculture*, 7, 74.
- Aymard D., Cassagne J.P., Sablik M.C., 2014 - *Mémento Agricole du Bassin Adour-Garonne*; Ministère de L'agriculture, Agro-Alimentaire et de la Forêt: Paris, France,
- Bertrand M., Doré T., 2008 - Comment intégrer la maîtrise de la flore adventice dans le cadre général d'un système de production intégrée. *Innovations Agronomiques*, 3, 1-13.
- Carter M.R., Ivany J.A., 2006 - Weed seed bank composition under three long-term tillage regimes on a fine sandy loam in Atlantic Canada.
- Cordeau S., Moreau D., 2017 - Gestion des adventices au moyen des cultures intermédiaires multi-services: potentiels et limites. *Innovations Agronomiques*, 62, 87-100.
- Cristofari H., 2018 - Une analyse pragmatiste des processus d'apprentissage en agroécologie : le cas de l'agriculture de conservation. Thèse d'Université, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.

Debaeke P., Orlando D., 1994 - Simplification du travail du sol et évolution de la flore adventice. Conséquences pour le désherbage à l'échelle de la rotation. *COLLOQUES-INRA*, 35-35.

Håkansson S., 2003 - *Weeds and weed management on arable land: an ecological approach*. CABI publishing.

Labrada R., Singh H., Batish D., Kohli R., 2006 - Weed management: a basic component of modern crop production. *Handbook of sustainable weed management*, 21-49.

Liebman M., Dyck E., 1993 - Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological applications*, 3, 1, 92-122.

Métais P., Vuillemin F., Cordeau S., 2017 - Étude de l'effet du travail du sol et des couverts sur les adventices dans des contextes de production variés. *Séminaire de Restitution à mi-parcours du Projet de Recherche ANR CoSAC (Conception de Stratégies durables de gestion des Adventices dans un contexte de Changement: climat, pratiques agricoles, biodiversité). Gestion des Adventices dans un Contexte de Changement.*. Paris, 53-55.

Mirsky S. B., Ryan M. R., Teasdale J. R., Curran W. S., Reberg-Horton C. S., Spargo J. T., ... Moyer J. W., 2013 - Overcoming weed management challenges in cover crop-based organic rotational no-till soybean production in the eastern United States. *Weed Technology*, 27, 1, 193-203.

Mohler C. L., Te Asdale J. R., 1993 - Response of weed emergence to rate of *Vicia villosa* Roth and *Secale cereale* L. residue. *Weed Research*, 33, 6, 487-499.

Swanton, C. J., & Weise, S. F., 1991 - Integrated weed management: the rationale and approach. *Weed Technology*, 5, 3, 657-663.

Team, R. C., 2013 - R: A language and environment for statistical computing.

Teasdale, J. R., 1996 - Contribution of cover crops to weed management in sustainable agricultural systems. *Journal of production agriculture*, 9, 4, 475-479.

Tribouillois H., Bedoussac L., Couëdel A., Justes E., 2017 - Acquisition des ressources et production de services écosystémiques par les mélanges bi-spécifiques de cultures intermédiaires. *Innovations Agronomiques*, INRA, 2017, 62, pp.1-16.

Voltz M., Louchart X., 2001 - Les facteurs-clés de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface. *Ingénieries Numéro Spécial «Phytosanitaires: transfert, diagnostic et solutions correctives*, 45-54.