



Conception de Stratégies durables de gestion des Adventices dans un contexte de Changement (Climat, pratiques agricoles, biodiversité)



CoSAC (ANR-14-CE18-0007)

**Séminaire de restitution à mi-parcours
du projet de recherche ANR COSAC**

***Mardi 31 janvier 2017 de 10 h à 17h et
mercredi 1 février de 9h à 12h30***

INRA - 147 rue de l'université à Paris

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	1
INTRODUCTION	3
CoSAC, un projet pour la Conception de Stratégies durables de gestion des Adventices dans un contexte de Changement (climat, pratiques agricoles, biodiversité)	4
Réchauffement observé et régionalisation des projections climatiques pour la Bourgogne Franche-Comté	7
ÉTUDE DE PROCESSUS BIOPHYSIQUES	10
PRÉSENTATIONS ORALES	10
Capacité des adventices à germer en surface dans diverses conditions	11
Modélisation de l'architecture racinaire dans le projet COSAC : pourquoi et comment ?	17
L'architecture racinaire des adventices en relation avec la disponibilité en azote du sol	19
POSTERS	22
Mise au point d'une méthode de caractérisation morphologique de cultures et d'adventices en vue de modéliser leur aptitude de réponse à la lumière	23
Les transferts d'azote dans le sol à partir d'engrais granulaires dans un contexte d'étude de l'intérêt des apports localisés pour favoriser la régulation des adventices	25
Mise au point d'un dispositif expérimental pour caractériser le tropisme racinaire	27
MODÈLES ET OUTILS	29
PRÉSENTATIONS ORALES	29
Comment représenter la dispersion des adventices dans les modèles : comparaison par analyse de sensibilité	30
Prototypes d'outil d'aide à la décision à partir de FLORSYS pour la gestion intégrée des adventices	32
L'hétérogénéité des données au sein du projet Cosac Enjeux et solutions	34
Modélisation de la résistance aux herbicides dans FlorSys : introduction d'un module permettant de simuler l'évolution conjointe de la résistance liée à la cible et non liée à la cible	36
Évaluation de la valeur pollinisatrice de la flore adventice de différents systèmes de culture	38
POSTERS	41
Évaluation du modèle de dynamique de flore multispécifique FLORSYS. Analyse d'incertitude, domaine de validité, erreur de prédiction et règles d'utilisation	42
Modélisation des effets des systèmes de culture sur la dynamique de l'orobanche rameuse (<i>Phelipanche ramosa</i> (L.) en interaction avec les adventices	44
Méta-modélisation de l'interception de la lumière dans un couvert cultures: adventices	46
Mieux prédire les conditions hydriques dans les premiers centimètres du sol pour déterminer la germination des adventices	48
Impact de la flore adventice sur la rétention des pesticides : développement d'un nouvel indicateur pour l'évaluation des systèmes de culture	50

ÉVALUER LA PERFORMANCE DES PRATIQUES CULTURALES AU CHAMP	52
PRÉSENTATIONS ORALES	52
Étude de l'effet du travail du sol et des couverts sur les adventices dans des contextes de production varies	53
Analyse des mécanismes impliqués dans la détection automatisée des adventices	56
APPLICATION À LA GESTION DURABLE	58
PRÉSENTATIONS ORALES	58
Comment les conseillers et les agriculteurs raisonnent la gestion des adventices?	59
Les adventices réduisent le rendement et la réduction d'usage d'herbicides aggrave cette perte si elle n'est pas compensée par des mesures préventives et curatives alternatives	62
Proposition d'une méthodologie de conception multi-objective de systèmes de culture à partir de simulations. Application à la gestion des adventices	64
Freins et leviers à la réduction de l'usage d'herbicides en grande culture	67
Guide interactif ECOHERBI : Accompagner les agriculteurs dans les changements de pratiques	70
POSTERS	71
Risque de résistance au glyphosate dans les systèmes de culture à base de maïs et effet sur la production agricole et la biodiversité	72
Mots-clés : modèle, adventice, résistance au glyphosate, système de culture, trait, agroécologie	72
À quelle échelle concilier production agricole et biodiversité : au niveau du paysage ou dans chaque parcelle? Étude appliquée à la gestion des adventices	74
Impact sur le long terme d'une pulvérisation localisée sur la flore adventice. Une étude de Simulation	77
Développement d'un outil d'aide à la décision pour la gestion intégrée des adventices : implication des futurs utilisateurs	79
Projet Inter-instituts Syppre : production de connaissances sur des stratégies de gestion durable des adventices en grande culture	81
Mots-clés :	81
LISTE DES AUTEURS	84

INTRODUCTION

CoSAC, un projet pour la Conception de Stratégies durables de gestion des Adventices dans un contexte de Changement (climat, pratiques agricoles, biodiversité)

Nathalie Colbach ⁽¹⁾, Frédérique Angevin ⁽²⁾, Pascale Métais ⁽³⁾, Delphine Moreau ⁽¹⁾, Loïc Pagès ⁽⁴⁾, Alain Rodriguez ⁽⁵⁾, Jean Villerd ⁽⁶⁾, Fanny Vuillemin ⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

⁽²⁾ Eco-Innov, INRA, 78850 Thiverval-Grignon, France

⁽³⁾ ARVALIS Institut du végétal, Biopole Clermont Limagne, 2 rue Mondor, 63360 Saint Beuzire, France

⁽⁴⁾ PSH, INRA, Site Agroparc, 94914 Avignon, France

⁽⁵⁾ ACTA, 6 chemin de la côte vieille, 31450 Baziege, France

⁽⁶⁾ LAE, INRA, Univ. Lorraine, F-54500 Vandoeuvre-lès-Nancy, France

⁽⁷⁾ Terres Inovia, Avenue Lucien Brétignières, 78 850 Thiverval-Grignon, France

Correspondance : Nathalie.Colbach@inra.fr

Résumé

Le projet CoSAC regroupe des partenaires de la recherche et du développement afin de (1) quantifier et comprendre, à l'aide d'expérimentations, les effets de pratiques agricoles innovantes sur les adventices et le fonctionnement de l'agroécosystème, (2) développer des outils prédisant les effets des pratiques agricoles et du pédoclimat sur la flore adventice, (3) utiliser ces outils pour concevoir des stratégies de gestion durable des adventices et d'évaluer leurs performances dans différents contextes de changements (pratiques agricoles, climat, biodiversité), (4) permettre l'adoption de ces stratégies innovantes par les agriculteurs. Le séminaire de mi-parcours présente les premiers résultats du projet.

Mots-clés : évaluation multicritère, durabilité, système agricole, adventice, modèle

Introduction

Dans le cadre de la réduction de l'usage d'herbicides demandée par les réglementations françaises et européennes, la gestion des adventices devra évoluer. La flore adventice est un facteur de réduction de la production agricole mais elle est aussi un des piliers de la biodiversité des paysages agricoles. Il est donc nécessaire de proposer des nouveaux systèmes agricoles qui permettent de concilier réduction d'usage des herbicides, production agricole et conservation de la biodiversité en grandes cultures. Le projet CoSAC (ANR-14-CE18-0007) regroupe des partenaires de la recherche et du développement afin de : (1) quantifier et comprendre, à l'aide d'expérimentations, les effets de pratiques agricoles innovantes sur les adventices et le fonctionnement de l'agroécosystème, (2) développer des outils prédisant les effets des pratiques agricoles et du pédoclimat sur la flore adventice, (3) utiliser ces outils pour concevoir des stratégies de gestion durable des adventices, (4) évaluer la durabilité globale de ces stratégies dans différents contextes de changement (pratiques agricoles, climat, biodiversité) et (5) permettre l'adoption de ces stratégies innovantes par les agriculteurs. Nous présentons ici les objectifs des différentes tâches.

Analyser et quantifier les effets des pratiques agricoles innovantes sur la flore adventice

Des essais au champ et des expérimentations en conditions contrôlées sont menés pour étudier des techniques et/ou combinaisons de techniques innovantes de gestion des adventices et pour lesquelles les mécanismes et processus biophysiques sous-jacents sont mal connus. L'objectif est double : (1) Analyser et quantifier les effets de ces techniques afin d'estimer leur robustesse dans différentes gammes pédoclimatiques et de flores adventices ; (2) Analyser les processus biophysiques sous-jacents à l'aide

d'expérimentations analytiques. Les résultats permettront de savoir comment améliorer l'efficacité des techniques culturales en optimisant les interactions biologiques et les processus physiques impliqués et de préparer la modélisation des effets, en identifiant les techniques et processus les plus pertinents à intégrer au modèle FLORSYS.

Les travaux se concentreront sur les stratégies innovantes pour lesquelles un inventaire des nouvelles techniques et des lacunes de connaissances sera réalisé : (spatialisation du désherbage chimique à l'intérieur de la parcelle ; diversification des couverts en interculture ou en association ; semis direct ou "strip-till" etc).

Développement d'outils et de méthodes d'évaluation et de conception *in silico*

FLORSYS est un modèle de recherche qui prédit les effets des systèmes de culture sur la dynamique de la flore adventice ainsi son impact sur la biodiversité et la production agricole. L'objectif est d'utiliser ce modèle comme champ virtuel pour développer des outils et méthodes pour l'évaluation multicritère *in silico* de systèmes de culture et la conception multiobjectif de systèmes de culture innovants pour la gestion durable de la flore adventice.

Ce travail va: (1) améliorer FLORSYS, à partir notamment des expérimentations du chapitre 2, pour intégrer les techniques culturales innovantes manquantes, les processus pour les modéliser correctement, et les indicateurs nécessaires pour les évaluer, (2) réaliser des simulations avec FLORSYS pour quantifier les effets des techniques et combinaisons de techniques sur les indicateurs de nuisibilité et biodiversité liées à la flore adventice, (3) utiliser ces données pour construire des outils plus opérationnels d'évaluation et conception de stratégies de gestion de flore adventice.

Conception et évaluation multicritère de systèmes de culture innovants permettant la gestion durable des adventices

L'objectif de cette partie est de proposer des systèmes de culture durables conciliant réduction d'usage d'herbicides, production agricole et conservation de la biodiversité, en tenant compte des freins à l'adoption à l'innovation chez les agriculteurs. Pour ce faire, plusieurs étapes sont prévues :

- Identifier, à partir d'enquêtes, les freins à l'adoption d'innovations techniques concernant la gestion des adventices chez les agriculteurs,
- évaluer une large gamme de systèmes de culture existants (identifiés via des enquêtes en exploitation agricole par ex.) et prospectifs (déjà testés sur les plateformes de prototypage, conçus à dire d'experts chercheurs et agriculteurs), en termes de nuisibilité et de bénéfices de la flore adventice, à l'aide de FLORSYS et des outils tirés de FLORSYS. Ces simulations seront réalisées avec des climats actuels et futurs et avec différentes flores adventices pour évaluer la robustesse des systèmes face au changement,
- concevoir, sur la base de ces diagnostics et en intégrant les résultats des autres tâches (chapitres 2 et 3) au fur et à mesure de leur disponibilité, de nouveaux systèmes de culture à dire d'experts, en tenant compte des freins et leviers à l'adoption mais aussi d'hypothèses sur les changements réglementaires et socio-techniques. Leurs impacts sur la productivité, le contrôle de la flore adventice et la biodiversité seront prédits par FLORSYS et les nouveaux outils (avec des climats et flores actuels et futurs),
- évaluer la durabilité globale des systèmes les plus performants identifiés à l'étape précédente grâce à des outils d'évaluation multicritère.

Valorisation et transfert des systèmes agricoles innovants vers les acteurs

L'objectif de cette action est de faciliter l'interaction avec la profession pour les questions de recherche des autres tâches et de diffuser, auprès d'un public large, les outils et les méthodes développés dans le projet, ainsi que les stratégies les plus efficaces de gestion des adventices.

Conclusion

Ce projet répond non seulement aux demandes des pouvoirs publics, notamment dans le cadre du plan Ecophyto, mais aussi à celles des agriculteurs, comme l'a montré une enquête récente réalisée par le RMT Florad. Les producteurs sont très demandeurs du type d'accompagnement que proposera CoSAC. Le projet devra aussi s'efforcer à transférer les résultats auprès des conseillers car nos interactions avec les conseillers et les agriculteurs ont montré que les agriculteurs sont souvent plus ouverts à l'innovation que leurs conseillers.

Face à la diversité des contextes de production, des techniques culturales et des critères d'évaluation à considérer, les outils d'aide à la décision sont indispensables pour identifier et proposer des systèmes agricoles multiperformants. Des modèles "champ virtuel" basés sur une représentation mécaniste des processus biophysiques sont souvent uniquement destinés à la recherche, mais nos premières interactions avec les agriculteurs ont montré qu'il y a également une demande pour un tel outil auprès de producteurs visant à régler très finement leurs pratiques culturales.

Réchauffement observé et régionalisation des projections climatiques pour la Bourgogne Franche-Comté

Thierry Castel ^{1,2}, Etienne Brulebois ¹ and Yves Richard ¹

¹ CRC UMR 6282 Biogéosciences CNRS/Université de Bourgogne

² AgroSup Dijon, F-21000 Dijon

Correspondance : tcastel@u-bourgogne.fr

Résumé

Les modalités du réchauffement climatique observé sur la période 1961-2015 à l'échelle de la région Bourgogne Franche-Comté (Castel et al. 2014; Richard et al. 2014), de la France (Brulebois et al. 2015) et de l'Europe (Reid et al. 2016) montrent une rupture autour des années 1987/1988. L'amplitude (+1.1°C) et la saisonnalité (printemps et été) de cette rupture sur les températures seront présentées ainsi que l'évolution associée des précipitations et l'impact sur la ressource en eau de surface (Brulebois et al. 2015). La capacité des modèles à régionaliser dynamiquement la variabilité climatique pour la période commune 1980-2014 sera évaluée. Enfin nous présenterons quelques résultats préliminaires sur l'évolution des variables climatiques clés (température, pluie) pour le 21^{ème} siècle en Bourgogne Franche-Comté.

Mots-clés : climat, réchauffement, rupture, projection, régionalisation

Réchauffement observé

Le réchauffement observé en France et en Bourgogne Franche-Comté (Brulebois et al. 2015, Castel et al. 2014) au cours des 55 dernières années montre un rupture climatique nette autour de 1987/1988 (cf. Figure 1).

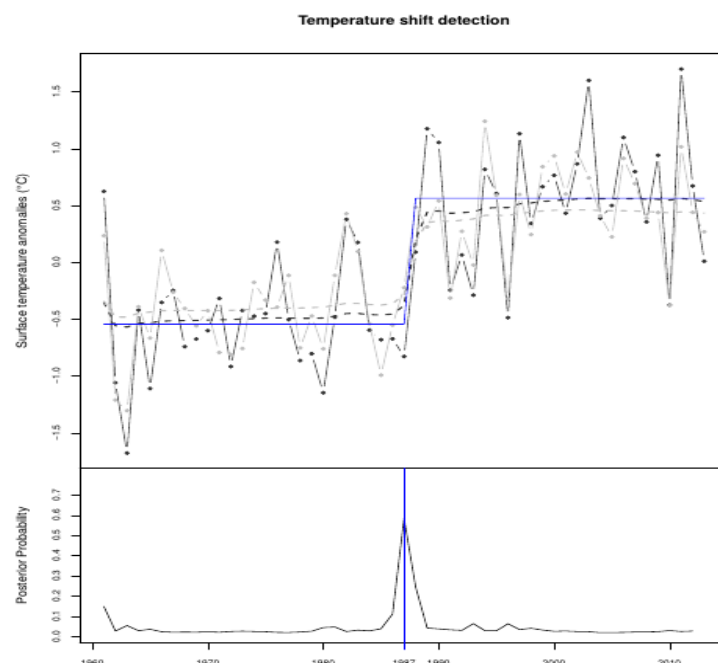


Figure 1 : Bayesian and linear regression model analyses for shift detection in annual Tmin and Tmax. Bayesian posterior mean (a); Bayesian posterior probability and structuralchange-point (vertical line) from linear regression model (b). Brulebois et al. (2015).

L'amplitude moyenne du réchauffement est de +1,1°C et concerne à la fois les températures maximales et minimales. Ce 'shift' a récemment été documenté à l'échelle européenne par Reid et al (2016). La saisonnalité du réchauffement est marquée avec des printemps et des étés qui se sont plus réchauffés que les hivers et surtout les automnes. Ces modalités ne se retrouvent pas sur les pluies (Richard et al. 2014) qui ne montrent aucunes ruptures. Néanmoins il a été montré que ce réchauffement avait eu malgré l'absence d'une rupture un impact significatif sur les débits des rivières (Brulebois et al. 2015).

Régionalisation climatique dynamique : performances

Pour aborder le changement climatique dans CoSAC on s'appuie sur une méthode de désagrégation dynamique utilisant le modèle climatique régional ARW/WRF. Une première étape a consisté à évaluer la capacité du modèle à mimer le climat sur la période 1980-2014 pour la Bourgogne Franche-Comté. Les simulations utilisent les données ré-analysées ERA-INTERIM comme données de forçage du modèle régional. La figure 2 montre la capacité du modèle à très bien reproduire la variabilité interannuelle des températures et des pluies.

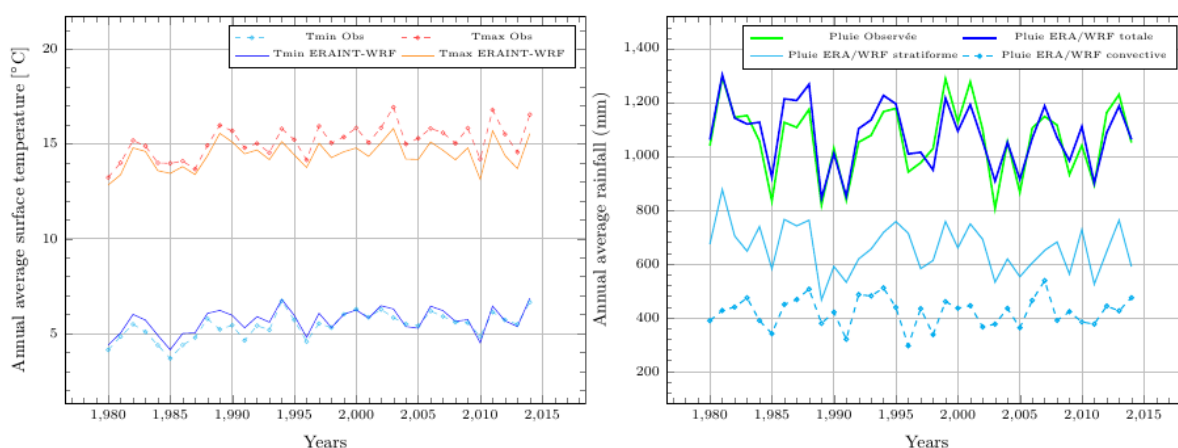


Figure 2 : Comparaison pour la période 1980-2014 de la variabilité inter-annuelle observée et simulée par le modèle climatique régional ARW/WRF. Notons que ce dernier est forcé au borne de son premier domaine par les données ré-analysées ERA-INTERIM.

Pour ces dernières nous observons une amélioration significative comparé aux résultats obtenus selon le même protocole dans le projet GICC HYCCARE-Bourgogne¹. En effet le biais humide systématique sur le cumul des pluies a été fortement réduit. Cette amélioration masque néanmoins une compensation des biais humides en période végétative et des biais secs à l'automne et au début de l'hiver. On peut également observer un biais froid récurrent sur les températures maximales. Ce biais est marqué pour le printemps et l'été.

Quel réchauffement jusqu'en 2100 : projection régionalisée selon la trajectoire RCP85

Les premiers résultats (cf. Figure 3) de la régionalisation du climat projeté sur la Bourgogne Franche-Comté selon la trajectoire RCP85 simulée par le modèle global CCSM4 dessine une augmentation moyenne des températures entre +4°C et +5°C à l'horizon 2100. Aucune tendance nette n'est par contre observée sur les cumuls annuels des pluies si ce n'est une légère diminution des cumuls en fin de siècle qui serait due à moins de pluies convectives. On observe une forte variabilité inter-annuelle des cumuls de pluie qui masque un

1 <http://www.alterrebourgognefranchecomte.org/r/127/projet-de-recherche-hyccare>

éventuel signal direct du réchauffement. Le cycle de l'eau n'en sera pas moins accéléré avec une demande évaporative plus importante ce qui mettra en tension la ressource et les systèmes de culture en particulier. Ces simulations après post-traitement, analyse et interprétation seront utilisées dans les mois à venir pour alimenter le modèle Florsys. Ce modèle permettra de tester les performances de différents systèmes de culture innovants en contexte de changement.

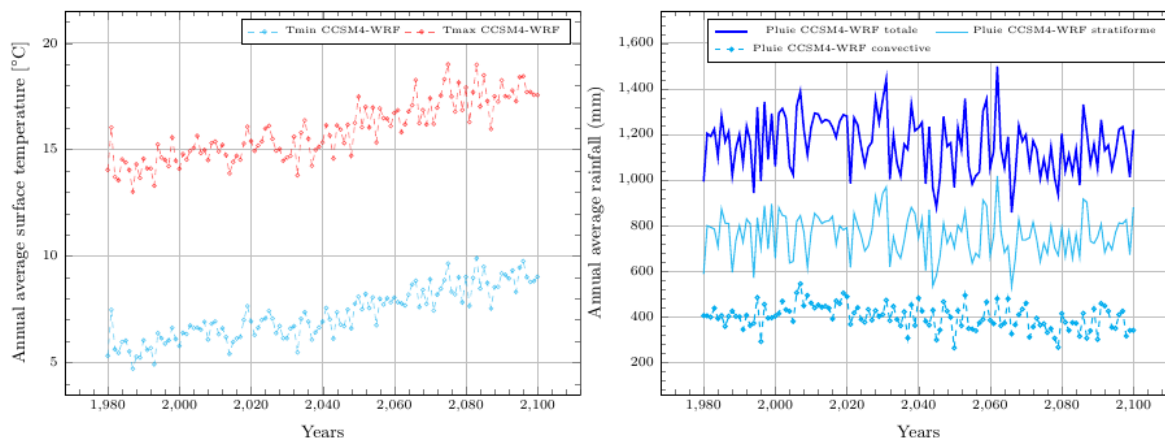


Figure 3 : Evolution pour la période 1980-2100 et selon la trajectoire RCP85 des températures et des précipitations annuelles régionalisées sur la Bourgogne Franche-Comté. Les projections à large échelle sont produites par le modèle climatique global CCSM4 du NCAR (National Center for Atmospheric Research – Boulder, Colorado USA).

Ces résultats préliminaires montrent aux bords près la capacité du modèle climatique régional à reproduire les principaux traits du climat du Centre-Est de la France. La variabilité journalière utile pour les modèles comme Florsys reste à analyser plus précisément. Cette analyse pour les simulations déjà réalisées sera accompagnée dans les semaines à venir par un travail sur le rayonnement, l'ETP, le vent et l'humidité.

Références bibliographiques

- Brulebois E, Castel T, Richard Y, Chateau-Smith C, and Amiotte-Suchet P. 2015. Hydrological response to an abrupt shift in surface air temperature over France in 1987/88, *Journal of Hydrology*, 531(3): 892–901, doi:10.1016/j.jhydrol.2015.10.026.
- Castel T, Lecomte C, Richard Y, Lejeune-Hénault I, Larmure A. 2014. Le réchauffement climatique diminue t-il le risque de dégâts de gel pour les cultures de climat tempéré? Colloque AIC 2-5 juillet 2014, Dijon, 6p.
- Richard Y., Castel T., Bois B., Cuccia C., Marteau R., Rossi A., Thévenin D., Toussaint H., 2014 : Évolution des températures observées en Bourgogne (1961-2011). *Bourgogne Nature*, 110-117.
- Reid, P. C., Hari, R. E., Beaugrand, G., et al., 2016, Global impacts of the 1980s regime shift. *Glob Change Biol*, 22: 682–703. doi:10.1111/gcb.13106.

ÉTUDE DE PROCESSUS BIOPHYSIQUES

PRÉSENTATIONS ORALES

Capacité des adventices à germer en surface dans diverses conditions

S. Cordeau, C. Reibel, F. Strbik, A. Matejcek, F. Dugué, D. Lizon-Au-Ciré, J.-P. Guillemain

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : stephane.cordeau@inra.fr

Résumé

Les espèces annuelles produisent des graines chaque année pour maintenir leur population. Ces graines tombent à la surface du sol. Si aucun travail du sol n'est réalisé (ex. cas du semis direct), les graines doivent germer en surface du sol, exposées aux variations environnementales, et parfois même dans un couvert. Cette étude a permis d'étudier l'effet du non-enfouissement des graines, et des conditions environnementales (humidité, lumière, présence d'un couvert) sur la germination, l'émergence et la croissance de nombreuses espèces annuelles. La germination est réduite (en moyenne, toutes espèces confondues) de 26% lorsque les graines sont laissées en surface, de 19% en situation de stress hydrique, et de 17% avec la présence d'un couvert. L'effet négatif du stress hydrique est amplifié quand les semences sont en surface. La croissance et le développement des adventices (hauteur, biomasse, nombre de feuilles) sont réduits, par ordre d'importance, par le couvert, puis le stress hydrique et enfin la position initiale de la graine. Ces réponses varient selon les espèces adventices étudiées. Cette étude confirme que la germination est une phase cruciale pour les espèces annuelles et qui peut être perturbée en cas de non-travail du sol.

Mots-clés : germination, émergence, traits, adventices, semis direct, couvert, agriculture de conservation

Introduction

Les effets négatifs du travail du sol (érosion, dégradation de la structure, taux de matière organique en régression) ont encouragé les agriculteurs à innover dans leur système de culture (Holland 2004). Les surfaces cultivées en non-travail du sol ont largement augmenté à travers le monde (Derpsch et al. 2010). Bon nombre de ces systèmes mettent en œuvre des couverts pour limiter l'érosion (Dabney et al. 2001), fixer de l'azote, et/ou lutter contre la flore adventice (Yenish et al. 1996). La mise en place de ces systèmes a conduit à des évolutions floristiques dans les parcelles, réduisant l'occurrence des espèces annuelles (Carter and Ivany 2006). Les espèces pérennes telles que *Convolvulus arvensis* (Buhler et al. 1994), *Cirsium arvense* ou *Elytiglia repens* (Torresen et al. 2003) sont plus adaptées à se maintenir dans ces systèmes. Peu d'études reportent une abondance plus élevée d'espèces annuelles que pérennes dans ces systèmes (Norsworthy 2008). Il s'avère néanmoins que de nombreuses espèces annuelles sont observées parmi les espèces fréquentes des systèmes en semis-direct (Trichard et al. 2013). La phase de germination/émergence est cruciale pour l'établissement des espèces annuelles dans un habitat. Or dans le cas du non-travail du sol, les adventices dispersent leurs graines à la surface du sol et ces semences ne sont pas enfouies. Ainsi, elles doivent germer à partir d'une semence en surface, souvent exposée aux variations de conditions environnementales (ex. humidité) et dans un couvert préétabli. On émet l'hypothèse que certaines espèces annuelles régressent dans les parcelles en semis direct à cause d'un échec de germination et de croissance dans cette phase initiale (Reibel et al. 2014, Cordeau et al. 2015a, Cordeau et al. 2015b, Cordeau et al. In prep).

Cette étude a pour objectif d'étudier la germination, émergence et croissance précoce de nombreuses espèces adventices dont les semences ont été mises dans des conditions variées de profondeur (surface vs. enfouies), d'humidité du sol (stress hydrique ou non), de lumière, et en présence ou non de couvert.

Matériel et méthode

Trois expérimentations en serres (Dijon, FR) ont été menées entre 2009 et 2013 avec une grande diversité d'espèces annuelles (Reibel et al. 2014, Cordeau et al. 2015a, Cordeau et al. 2015b).

Tableau 1 : liste des espèces adventices annuelles testées dans les trois expérimentations.

Adventice	Expérimentation 1 Effet de la position de la graine et du couvert	Expérimentation 2 Effet de la position de la graine et du couvert et du stress hydrique	Expérimentation 3 Effet de la lumière et de l'humidité
<i>Alopecurus myosuroides</i>	X	X	X
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	X		
<i>Lysimachia arvensis</i>	X		
<i>Bromus sterilis</i>	X	X	X
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	X	X	X
<i>Cyanus segetum</i>	X	X	X
<i>Euphorbia helioscopia</i>	X		
<i>Geranium dissectum</i>	X		X
<i>Lamium purpureum</i>	X		
<i>Poa annua</i>	X	X	X
<i>Sonchus asper</i>	X	X	X
<i>Veronica persica</i>	X	X	X
<i>Viola arvensis</i>	X		
<i>Vulpia myuros</i>	X	X	X
<i>Amaranthus retroflexus</i>			X
<i>Avena fatua</i>			X
<i>Chenopodium album</i>			X

Les expérimentations 1 et 2 ont consisté respectivement à mettre en germination (figure 1) des semences selon 2 facteurs (position de la graine et présence du couvert) et 3 facteurs (position de la graine, présence du couvert et stress hydrique), et à mesurer le taux de germination et la croissance et le développement (hauteur, biomasse sèche, et nombre de feuilles).

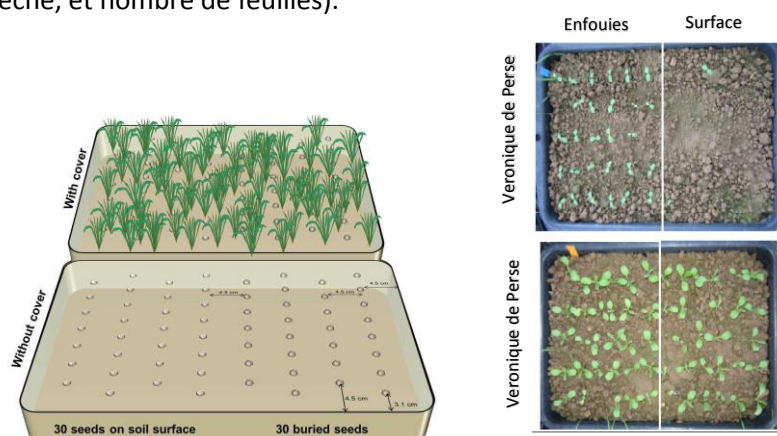


Figure 1 : schéma du dispositif de mise en germination des semences avec ou sans couvert, en surface ou enfouies (0.5 cm). D'après (Cordeau et al. 2015a)

L'expérimentation 3 a testé la germination uniquement des adventices dont les semences ont été mises dans différentes conditions (Figure 2) : HOS : humectées à l'obscurité et mises à germer en surface, HOE : humectées à l'obscurité et mises à germer enfouies, HLS : humectées à la lumière et mises à germer en surface, HLE : humectées à la lumière et mises à germer enfouies, SLS : sèches à la lumière et mises à germer en surface, SLE : sèches à la lumière et mises à germer enfouies.

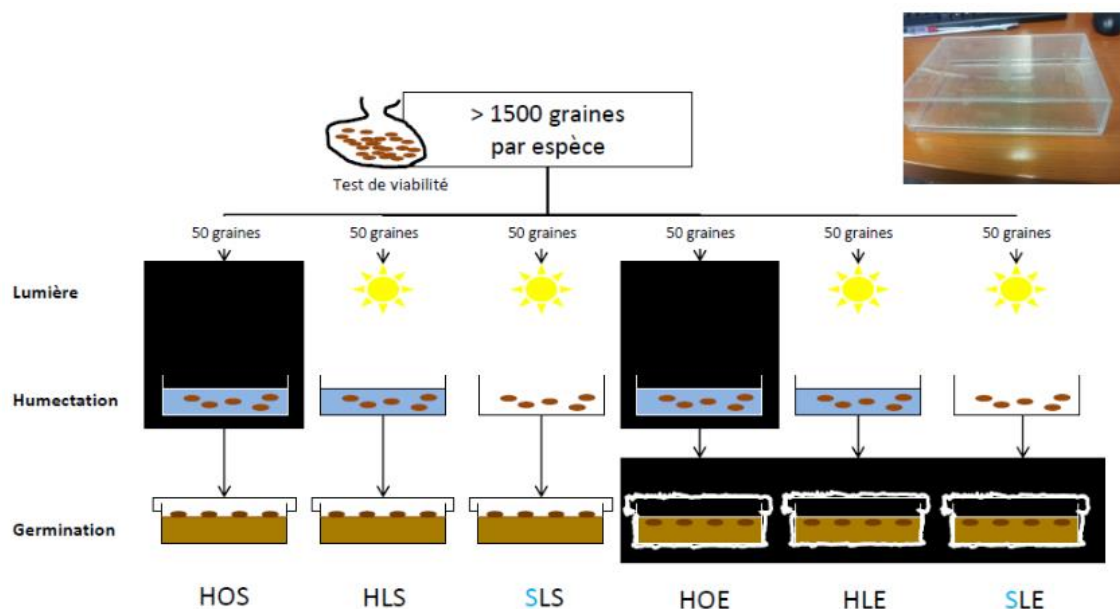


Figure 2 : Schéma du dispositif de préparation des semences du dispositif de l'expérimentation 3. D'après (Cordeau et al. 2015b)

Résultats et discussion

Effet du non enfouissement et du couvert

Cette étude démontre que le non enfouissement des semences et la présence du couvert réduisent l'émergence des adventices annuelles, respectivement de 10.3% et 9.5%. Des variations de réponses sont observées entre espèces (Figure 3). Ces deux facteurs diminuent aussi la croissance et le développement des adventices pour toutes les espèces testées. La hauteur diminue en présence de couvert (-49.9%) et lorsque les semences en surface (-33.7%). La biomasse diminue en présence de couvert (-87.2%) et lorsque les semences en surface (-70.6%). Le nombre de feuilles diminue en présence de couvert (-55.4%) et pour les semences en surface (-43.3%).

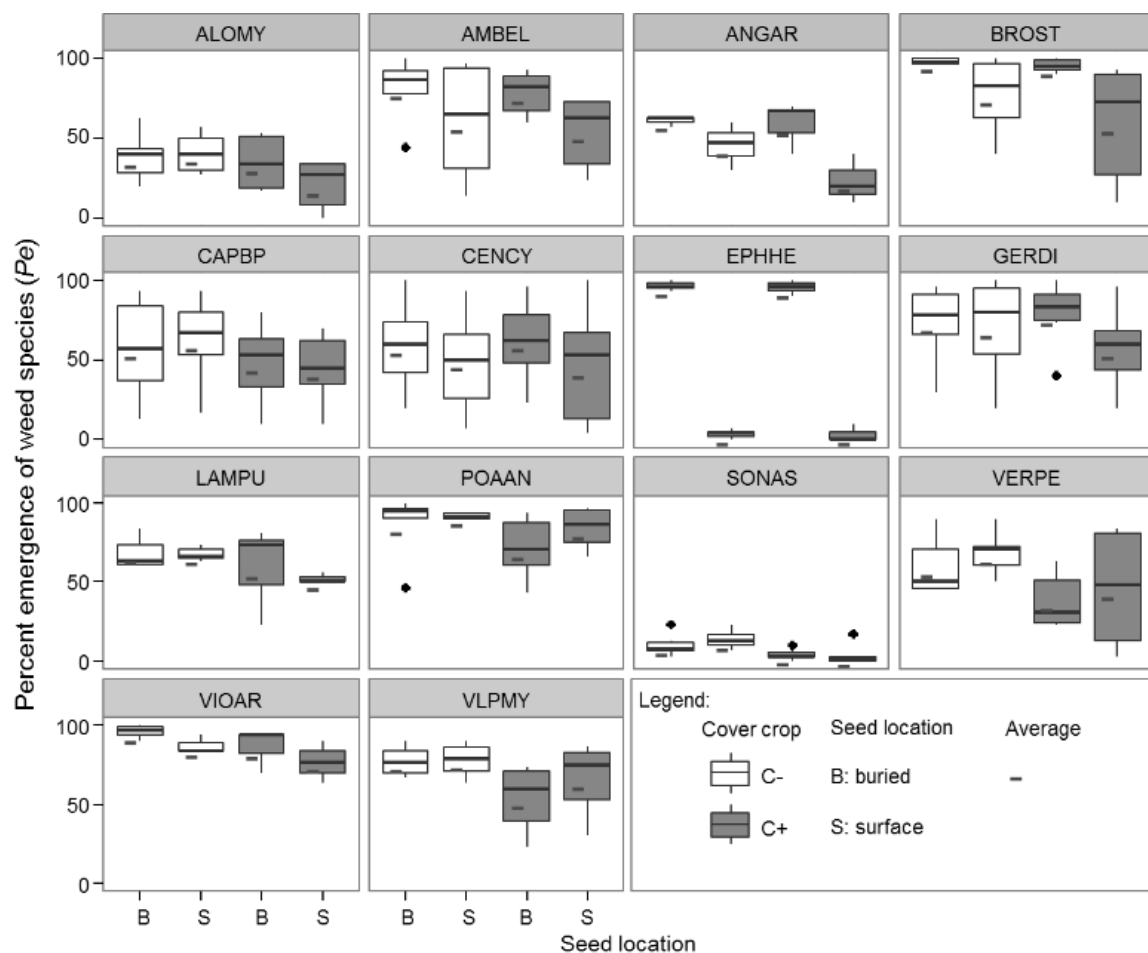


Figure 3 : effet de la position des graines (B : enfouies, S : surface) et de la présence (C+) ou absence (C-) d'un couvert de ray-grass sur la germination d'adventices. D'après (Cordeau et al. 2015a)

Effet du stress hydrique

L'effet du stress hydrique amplifie les effets négatifs de la présence du couvert et du non enfouissement des semences sur la germination et la croissance des adventices (Figure 4). Le stress hydrique diminue de -20% la germination des adventices sauf pour *Sonchus asper*. Le stress hydrique diminue la germination d'autant plus que les semences sont en surface (55% de germination en moyenne pour des semences enfouies sans stress hydrique contre 10% de germination en moyenne pour de semence en surface et en stress hydrique).

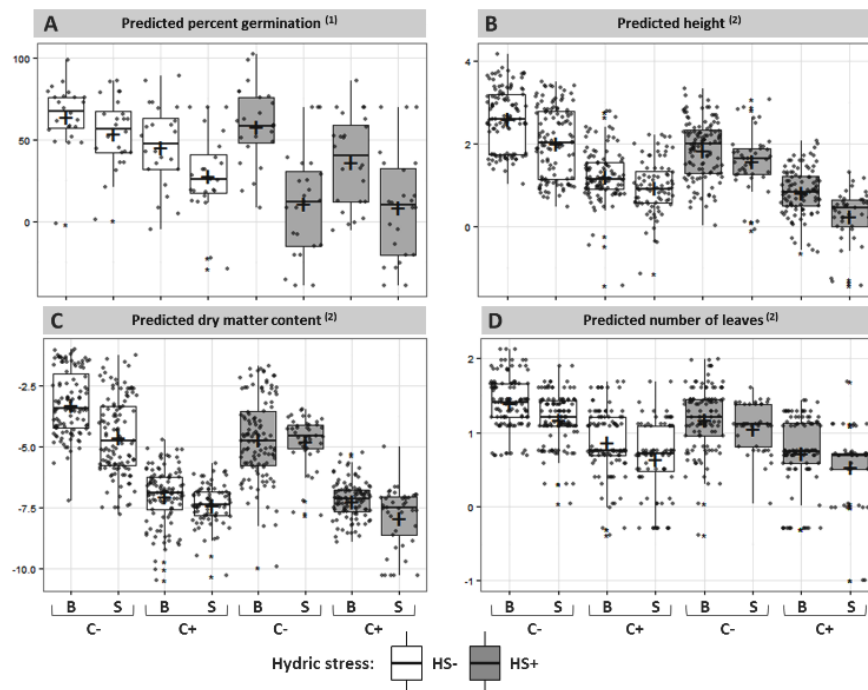


Figure 4 : effet du stress hydrique, de la localisation des semences et de la présence de couvert sur la germination, la hauteur, la biomasse et le nombre de feuille des adventices (prédit pour une adventice générique).

Rôle des facteurs lumière et humidité dans la germination des semences en surface

Les deux expérimentations précédentes ne permettent pas de décorréler l'effet de la lumière (lumière-absence de lumière) de celui de la position des graines (surface-enfouie) alors que ces deux facteurs sont cruciaux pour comprendre les processus de germination. La 3^{ème} expérimentation a donc démontré que les processus de germination étaient très différents entre des graines en surface et des graines enfouies dans le sol. Les facteurs lumière et humidité n'ont pas la même importance (Figure 5) selon les adventices et surtout selon que les graines soit enfouies (cas du travail du sol) ou en surface (cas du non-travail du sol).

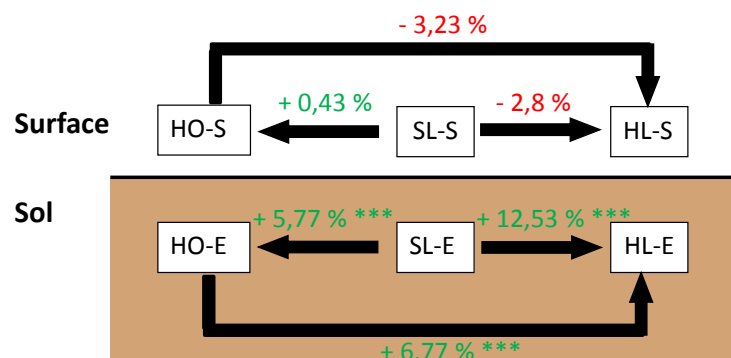


Figure 5 : effet de l'humectation des graines (ou non) à la lumière ou au noir, sur la germination des semences en surface ou enfouies. HOS : humectées à l'obscurité et mises à germer en surface, HOE : humectées à l'obscurité et mises à germer enfouies, HLS : humectées à la lumière et mises à germer en surface, HLE : humectées à la lumière et mises à germer enfouies, SLS : sèches à la lumière et mises à germer en surface, SLE : sèches à la lumière et mises à germer enfouies. Les chiffres sur les flèches correspondent à l'augmentation (vert) ou réduction (rouge) du pourcentage de germination. Il est significativement différent de zéro quand le pourcentage est suivi de *** ($P < 0.001$).

Conclusion

Le non enfouissement des semences et la présence d'un couvert réduisent la germination et la croissance des espèces annuelles. Le stress hydrique amplifie ces effets négatifs. Ceci est principalement dû au fait que l'humectation à la lumière des semences adventices, qui leur donne un avantage pour la germination lorsqu'elles sont enfouies, ne se produit pas lorsque les graines sont en surface.

Remerciements

Le travail présenté est financé par le projet ANR CoSAC (ANR-14-CE18-0007) et le projet région Bourgogne FABER Couv'Herbi.

Références bibliographiques

- Buhler, D. D., D. E. Stoltenberg, R. L. Becker, and J. L. Gunsolus. 1994. Perennial weed populations after 14 years of variable tillage and cropping practices. *Weed Science* 42:205-209.
- Carter, M. R. and J. A. Ivany. 2006. Weed seed bank composition under three long-term tillage regimes on a fine sandy loam in Atlantic Canada. *Soil and Tillage Research* 90:29-38.
- Cordeau, S., J.-P. Guillemin, C. Reibel, and B. Chauvel. 2015a. Weed species differ in their ability to emerge in no-till systems that include cover crops. *Annals of Applied Biology* 166:444-455.
- Cordeau, S., D. Lizon-au-cire, C. Reibel, F. Strbik, F. Dugué, A. Matejcek, and J.-P. Guillemin. 2015b. Weed seeds ability to emerge on the soil surface.in 17th European Weed Research Society Symposium "Weed management in changing environments", Montpellier, France.
- Cordeau, S., S. Wayman, C. Reibel, B. Chauvel, and J. P. Guillemin. In prep. Effects of drought on weed emergence and growth vary with seed location and presence of a cover crop.
- Dabney, S. M., J. A. Delgado, and D. W. Reeves. 2001. Using winter cover crops to improve soil quality and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 32:1221-1250.
- Derpsch, R., T. Friedrich, A. Kassam, and H. Li. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 3:1-25.
- Holland, J. M. 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture Ecosystems & Environment* 103:1-25.
- Norsworthy, J. K. 2008. Effect of tillage intensity and herbicide programs on changes in weed species density and composition in the southeastern coastal plains of the United States. *Crop Protection* 27:151-160.
- Reibel, C., S. Cordeau, J.-P. Guillemin, and B. Chauvel. 2014. Drought affects weed emergence in cover crops of no-till systems. Pages 395-396 XIIIth ESA (European Society for Agronomy) congress. Prof. Dr. Zoltán Szilvássy rector University of Debrecen, Debrecen, Hungary.
- Torresen, K. S., R. Skuterud, H. J. Tandsaether, and M. B. Hagemo. 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. I. Effects on weed flora, weed seedbank and grain yield. *Crop Protection* 22:185-200.
- Trichard, A., A. Alignier, B. Chauvel, and S. Petit. 2013. Identification of weed community traits response to conservation agriculture. *Agriculture Ecosystems & Environment* 179:179-186.
- Yenish, J. P., A. D. Worsham, and A. C. York. 1996. Cover crops for herbicide replacement in no-tillage corn (Zea mays). *Weed Technology* 10:815-821.

Modélisation de l'architecture racinaire dans le projet COSAC : pourquoi et comment ?

Loïc Pagès¹, Delphine Moreau², Olivia Pointurier^{2*}, Arthur Poulain^{1*}, Salomé Sauvage^{1*}, Valérie Serra¹, Nathalie Colbach²

¹INRA, Unité 1115 PSH, Domaine Saint-Paul, 84914 Avignon cedex 9

²Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

**Jeunes chercheurs temporaires recrutés dans le cadre de la mission*

Correspondance : loic.pages@inra.fr

Pourquoi modéliser les systèmes racinaires ?

Les interactions souterraines entre les racines de différentes plantes et avec le sol sont capitales dans le fonctionnement de la parcelle cultivée et pour la durabilité des systèmes de culture. Ces interactions sont multiples et complexes. On peut citer en particulier les relations de compétition entre plantes pour les ressources du sol, mais aussi les relations de facilitation dans certains cas, ou des symbioses avec d'autres organismes du sol, voire du parasitisme inter-espèces plus ou moins complet. Le contexte de l'agriculture et de l'agro-écologie nous conduit à regarder davantage ces phénomènes et à élargir ainsi notre vision sur les interactions dans l'agrosystème.

Il y avait donc là un manque évident dans le modèle « parcelle virtuelle » FLORSYS (Colbach et al., 2014), qui prédit la dynamique pluriannuelle des adventices dans les systèmes de culture. Ce modèle simule le développement aérien et les relations de compétition entre plantes (cultivées et adventices) pour la lumière au jour le jour sur des dizaines d'années, avec une représentation individu-centrée 3D du couvert composé par les plantes cultivées et adventices.

Dans le cadre du projet ANR COSAC, nous nous proposons donc de développer un nouveau module pour compléter le simulateur FLORSYS en dotant les plantes virtuelles qu'il produit de systèmes racinaires.

Démarche : choix et calibration d'un modèle d'architecture sur espèces adventices

Pour représenter la majorité des processus d'interaction souterraine, nous avons besoin d'informations spatialisées et dynamiques car ce sont bien les proximités spatio-temporelles entre racines qui autorisent ces multiples interactions entre les plantes et avec le sol. Nous avons beaucoup de lacunes dans nos connaissances sur la dynamique racinaire, et plus encore sur celle des espèces adventices.

Pour cette étude, nous avons fait le choix d'utiliser dans un premier temps un modèle simple (Archisimple ; Pagès et al., 2014) qui représente la dynamique de l'architecture racinaire. Par rapport à d'autres modèles, il réunit plusieurs avantages face à notre cahier des charges : il est dynamique ; il explicite conjointement la forme et la structure des systèmes racinaires ; il simule des interactions génotype-environnement ; il est simple et générique (multi-espèces) avec un faible nombre de paramètres (une vingtaine) qui ont un sens biologique et qui représentent des traits architecturaux estimables indépendamment les uns des autres. Outre leur intérêt pour calibrer le simulateur, l'ensemble de ces « traits-paramètres » constitue aussi une grille d'analyse quantitative pour la caractérisation de l'objet complexe que constitue le système racinaire

dans un sol (son phénotypage). Il est également possible d'évaluer la diversité interspécifique des traits et leur stabilité vis-à-vis de facteurs du milieu comme la disponibilité en azote (Cf. Moreau et al., dans ce séminaire).

Dans le cadre de ce projet, nous avons réalisé l'estimation des traits-paramètres sur 20 espèces adventices en conditions sub-optimales, grâce à des cultures en grands pots d'une part qui permettent de décrire l'évolution de systèmes racinaires peu contraints et de quantifier des traits plutôt statiques, et grâce à des cultures en rhizotrons d'autre part qui permettent l'estimation des traits dynamiques grâce à des observations régulières. Quelques exemples de ces traits sont présentés brièvement dans l'exposé oral.

Les suites : création et calibration d'un méta-modèle à intégrer dans Florsys

Pour la suite du projet, nous avons pour objectif d'utiliser le modèle d'architecture comme un générateur de données (virtuelles) pour concevoir et calibrer un nouveau modèle, encore plus simple et plus rapide dans ses calculs, qui pourra être intégré dans le simulateur global Florsys. Ce module (ou méta-modèle, comparable à celui de Pagès et al, 2012) restera un modèle dynamique, qui intégrera à la fois l'évolution de l'enveloppe du système racinaire (lieu des interactions) et l'évolution de la biomasse et de la densité de longueur des racines dans le sol inscrit dans l'enveloppe (pour pouvoir quantifier l'intensité des interactions). Ainsi, il simulera le grandissement d'un volume simple, dans lequel sont distribuées des racines avec une densité qui varie dans le temps et suivant la profondeur.

Bibliographie sommaire

Colbach N, Biju-Duval L, Gardarin A, Granger S, Guyot SHM, Mézière D, Munier-Jolain NM, Petit S, 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Res.* 54, 541–555

Moreau et al., ce séminaire

Pagès L, Bécel C., Boukcim H., Moreau D., Nguyen C., Sterckeman T., Voisin A.-S., 2014. Calibration and evaluation of ArchiSimple, a parsimonious model of the root system architecture. *Ecological modeling* 290, 76-84

Pagès L., Bruchou C., Garré S., 2012. Links between root length density profiles and models of the root system architecture. *Vadose Zone Journal* 11 (4)

L'architecture racinaire des adventices en relation avec la disponibilité en azote du sol

Delphine Moreau ¹, Florent Abiven ¹, Hugues Busset ¹, Annick Matejcek ¹, Loïc Pagès ²

¹Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

²INRA, UR 1115 PSH, Site Agroparc, F-84914 Avignon cedex 9,

Correspondance : delphine.moreau@inra.fr

Résumé

Mieux gérer la compétition culture : adventice dans des systèmes de culture moins dépendants de l'azote minéral et des herbicides nécessite de mieux connaître l'architecture racinaire des cultures et des adventices en lien avec la disponibilité en azote du sol. Pour cela, nous avons mené deux essais en serre sur douze espèces cultivées et adventices, cultivées à deux concentrations contrastées en azote du sol. Nous avons utilisé les paramètres d'un modèle d'architecture racinaire comme traits pour comparer les espèces et analyser la réponse de l'architecture racinaire à la disponibilité en azote. Les traits racinaires étudiés sont variables entre les espèces mais peu affectés par la disponibilité en azote du sol. La connaissance des caractéristiques racinaires des espèces fournit des informations sur leur aptitude à la compétition pour les ressources du sol.

Mots-clés : Trait, racine, azote, adventice, compétition

Introduction

La nuisibilité des adventices dépend notamment de leur aptitude à la compétition, c'est-à-dire de leur capacité à prélever les ressources aux dépens des espèces cultivées. L'architecture racinaire est connue pour jouer un rôle clef dans la compétition pour les ressources du sol mais, à ce jour, peu de connaissances sont disponibles sur l'architecture racinaire des espèces adventices. Dans cette étude, l'objectif a été d'analyser (1) la diversité des architectures racinaires au sein d'une gamme d'espèces adventices et cultivées et (2) la réponse de l'architecture racinaire de ces espèces à la disponibilité en azote du sol.

Matériel et méthodes

Deux expérimentations ont été conduites en serre pour caractériser neuf espèces adventices et trois espèces cultivées, dans deux conditions contrastées de disponibilité en nitrates du sol (0.625 et 10.5 mM). Au cours de ces expérimentations, des prélèvements ont été effectués régulièrement pour caractériser le développement racinaire. Les traits racinaires considérés correspondent à des paramètres d'un modèle d'architecture racinaire (Pagès et al., 2014) décrivant l'émission des racines primaires, l'élongation des racines et la ramification.

Résultats

Croissance globale des plantes

Dans les deux expérimentations, l'espèce a eu un effet significatif sur toutes les variables de croissance (données non montrées). En réponse à l'augmentation de la disponibilité en azote du sol, pour quasiment l'ensemble des espèces, la biomasse aérienne a augmenté alors que la biomasse racinaire a diminué. L'ampleur des réponses à l'azote a varié selon les espèces.

Traits d'architecture racinaire (Figure 1)

Les diamètres extrêmes reflètent la capacité des espèces à produire des racines fines et grosses. Ils ont fortement différencié entre espèces. Le diamètre minimal a varié d'un facteur 2 entre espèces, depuis le panic

pie de coq (ECHCG) au pois protéagineux (PIBSA). Les différences entre espèces ont été plus prononcées pour le diamètre maximal qui a varié d'un facteur 4 environ, de la germandrée botryde (TEUBO) au panic pied de coq (ECHCG). La **distance inter-ramification** (la distance moyenne entre deux racines latérales successives) a fortement varié selon les espèces, jusqu'à un facteur 3, de la vulpie queue de rat (VLPMY) à la matricaire perforée (MATIN). Pour ces trois traits, les différences entre espèces étaient marquées alors que l'azote a eu peu d'effet.

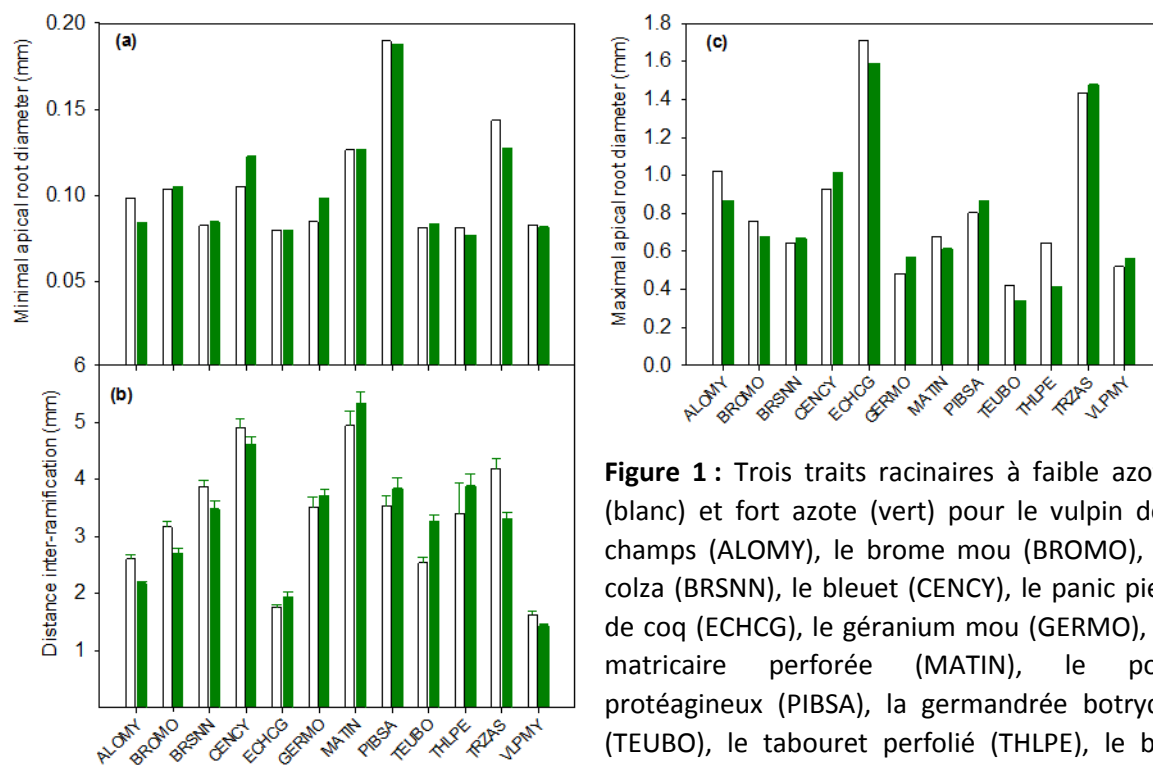


Figure 1 : Trois traits racinaires à faible azote (blanc) et fort azote (vert) pour le vulpin des champs (ALOMY), le brome mou (BROMO), le colza (BRSNN), le bleuet (CENCY), le panic pied de coq (ECHCG), le géranium mou (GERMO), la matricaire perforée (MATIN), le pois protéagineux (PIBSA), la germandrée botryde (TEUBO), le tabouret perfolié (THLPE), le blé (TRZAS) et la vulpie queue de rat (VLPMY).

Discussion et conclusion

De fortes différences d'architecture racinaire entre espèces suggèrent des différences de compétitivité

Il est connu que les racines avec un diamètre plus large peuvent pénétrer des horizons de sol plus durs et s'allonger plus rapidement, ce qui leur permet d'avoir accès aux ressources du sol plus profondes, comme l'eau et les nitrates lixiviés. Ainsi, le panic pied de coq et le blé tendre pourraient être de bons compétiteurs pour l'eau et les nitrates. Les espèces qui combinent à la fois une forte densité de racines et des racines fines ont généralement une meilleure capacité à prélever les nutriments peu mobiles, comme le phosphore. La vulpie queue de rat (VLPMY), le panic pied de coq (ECHCG), le vulpin des champs (ALOMY), la germandrée botryde (TEUBO) et le brome mou (BROMO) pourraient donc être adaptées à l'acquisition du phosphore.

Les traits d'architecture racinaire étudiés sont peu affectés par la disponibilité en azote du sol

L'augmentation de la disponibilité en azote du sol a affecté la croissance globale des plantes mais a peu affecté les traits racinaires. Comme les traits que nous avons étudiés reflètent des processus sous-jacents à l'architecture racinaire, nos résultats suggèrent que les règles qui gouvernent l'architecture racinaire sont peu affectées par le statut azoté des plantes et la disponibilité en azote du sol. Il est donc vraisemblable que les différences d'architecture racinaire induites par des différences de disponibilité en azote du sol trouvent principalement leur origine dans des différences de quantité de carbone alloué au sein du système racinaire en réponse à une modification de la disponibilité en azote du sol.

Perspectives

Le modèle d'architecture racinaire ainsi paramétré sera couplé au modèle FlorSys pour prendre en compte la compétition pour l'azote dans l'analyse de l'effet des systèmes de culture sur la démographie des adventices.

Financements

L'INRA (Département Environnement et Agronomie), le projet ANR CoSAC (ANR-14-CE18-0007) et le programme de recherche « Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides » issu de l'APR 2011 « Changer les pratiques agricoles pour préserver les services écosystémiques » (Ministères français en charge de l'Ecologie et de l'Agriculture).

Référence

Pagès L., Bécel C., Boukcim H., Moreau D., Nguyen C., Voisin A.-S., 2014. Calibration and evaluation of ArchiSimple, a simple model of root system architecture. *Ecological Modelling*, 290, 76-84

POSTERS

Mise au point d'une méthode de caractérisation morphologique de cultures et d'adventices en vue de modéliser leur aptitude de réponse à la lumière

F. Strbik, F. Dugué, N.M. Munier-Jolain, N. Colbach

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : florence.strbik@inra.fr

Résumé

La modélisation, et plus particulièrement le modèle de prédiction de flore adventice FLORSYS, nécessite l'acquisition constante de données sur la croissance et la plasticité morphologique d'espèces cultivées et d'adventices. Nous avons mis au point une méthodologie basée sur de l'expérimentation en parcelles jardinées pour quantifier la croissance et la plasticité morphologique des espèces dans des conditions contrastées de lumière. Les données sont obtenues par des mesures de surfaces foliaires, de hauteurs et envergures des plantes, des pesées de biomasse, et par analyse de photographies via les logiciels Matlab et ImageJ. Nous montrerons les résultats pour quelques espèces adventices.

Mots-clés : expérimentation, plasticité, ombrage, analyse d'images, modélisation

Introduction

Pour comprendre et modéliser la compétition pour la lumière des cultures et des adventices, nous avons besoin de caractériser la croissance et la morphologie des plantes, et notamment la plasticité morphologique des plantes en cas d'ombrage par des plantes voisines. Afin de maîtriser le niveau d'ombrage, d'homogénéiser les autres facteurs (stade des plantes, nutrition azotée etc) et de développer des formalismes de mesures et de description génériques valables pour tous les types d'espèces, nous avons dû innover dans des méthodes expérimentales en termes de dispositif, méthodes de mesures et techniques de prise de photos associées à des logiciels d'analyses d'images.

Matériels et méthode

L'expérimentation est réalisée en parcelles jardinées. Nous avons mené des campagnes successives pour étudier des adventices, des cultures de rente, et récemment des plantes de couverture (nyger, fénugrec...) et des plantes compagnes des cultures (féverole, trèfle blanc...). Les plantes sont placées à 0,5 m des voisines pour éviter toute interférence, avec 2 conditions expérimentales, une partie en lumière directe et l'autre sous un filet d'ombrage interceptant environ 60% du rayonnement. Tout au long de l'expérimentation, une centrale d'acquisition enregistre la température et le rayonnement dans chaque condition.

Des mesures sont effectuées à 5 stades : 2 feuilles, 4 feuilles, 8 feuilles, début floraison et fin floraison. Ces mesures sont : hauteur et envergure des plantes (en cm), surface foliaire par planimètre (cm²), biomasse aérienne sèche (g). Chaque plante est aussi photographiée du dessus et latéralement. L'analyse de ces images permet de calculer le recouvrement du sol par la surface foliaire (logiciel ImageJ, macro de « pouvoir_couvrant » du GEVES), et la répartition verticale de la surface foliaire le long de la hauteur (logiciel Matlab, script établi par Mickaël Lamboeuf, UMR Agroécologie, Dijon).

Ces données permettent de calculer les traits des espèces en conditions optimales : Specific Leaf Area (SLA, surface foliaire/biomasse des feuilles), Leaf Mass Ratio (biomasse des feuilles/biomasse des plantes), Hauteur Massique (HM, hauteur/biomasse), Envergure massique (WM, envergure/biomasse), Hauteur foliaire médiane (XM), et Paramètre de courbure (b). Une deuxième série de paramètres quantifie la

sensibilité de ces traits à l'ombrage (μ SLA, μ HM, μ WM, μ XM). Une valeur nulle signifie que l'espèce est insensible à l'ombrage, une valeur élevée que le trait associé augmente. Par exemple, un μ HM élevé indique que la plante s'étiole en cas d'ombrage.

Résultats

Parmi les 26 espèces adventices étudiées, les graminées (vulpin, pâturin, etc) attribuent en moyenne plus de biomasse à la hauteur des plantes, i.e. elles ont une hauteur spécifique plus élevée (Figure 1). Elles s'étiolent généralement en cas d'ombrage, en augmentant leur taille pour échapper à l'ombre que leur font leurs voisines. Les dicotylédones ont des comportements plus variables avec des espèces qui s'étiolent et d'autres dont la hauteur est insensible à l'ombrage.

Au soleil, les graminées attribuent moins de biomasse aux feuilles que les dicotylédones (LMR faible, Figure 2). Par contre, il y a une corrélation négative entre la sensibilité du LMR à l'ombrage et le LMR au soleil. Par conséquent, les graminées augmentent leur biomasse foliaire plus que les dicotylédones quand les plantes sont dans l'ombre de leur voisines.

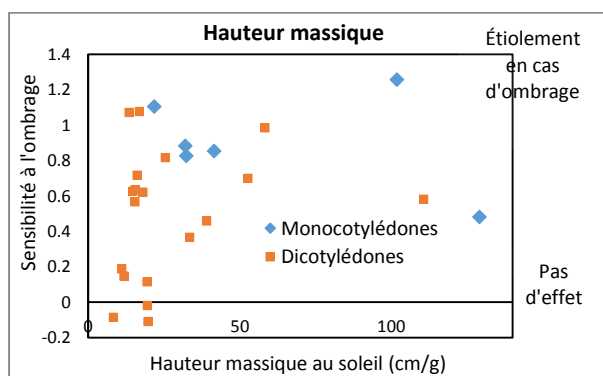


Figure 1 : Hauteur massique (hauteur/masse) des plantes au soleil et sensibilité à l'ombrage de 26 adventices. Moyenne de la levée à la maturité.

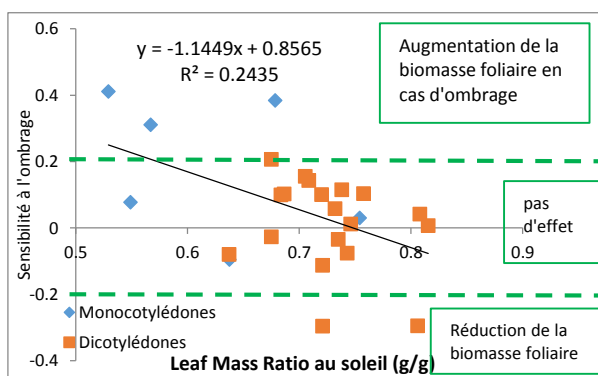


Figure 2 : Ratio de la biomasse des feuilles vs biomasse des plantes au soleil et sensibilité à l'ombrage de 26 adventices. Moyenne de la levée à la maturité.

Perspectives

Nous recherchons actuellement des corrélations fonctionnelles entre les paramètres morphologiques des espèces et des traits faciles à mesurer, pour estimer plus facilement et rapidement ces paramètres pour un grand nombre d'adventices et de cultures.

Financements

Le projet ANR CoSAC (ANR-14-CE18-0007) et le programme de recherche « Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides » issu de l'APR 2011 « Changer les pratiques agricoles pour préserver les services écosystémiques » (Ministères français en charge de l'Ecologie et de l'Agriculture).

Références bibliographiques

Munier-Jolain, N.M., Collard, A., Busset, H., Guyot, S.H.M., Colbach, N., 2014. Modelling the morphological plasticity of weeds in multi-specific canopies. *Field Crops Research* 155, 90-98.

Mathey P., Moreau M., Munier-Jolain N.G. 2011. Standardisation de la prise de photographies en conditions contrôlées pour l'estimation non destructive de la surface foliaire. *Cahiers Techniques Inra*, 72, 31-35.

Les transferts d'azote dans le sol à partir d'engrais granulaires dans un contexte d'étude de l'intérêt des apports localisés pour favoriser la régulation des adventices

S. Villette

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 26, bd Docteur Petitjean, F-21000 Dijon, France

Correspondance : sylvain.villette@agrosupdijon.fr

Résumé

Dans un contexte de mise en œuvre de techniques spatialisées au sein d'une parcelle cultivée et dans le cadre de l'étude de la régulation des adventices par la compétition pour l'azote, une synthèse bibliographique a été réalisée dans le but (1) d'identifier les modes de placement de l'engrais et leur impact sur la croissance de la culture et des adventices ; (2) de recenser les modèles existants pour simuler le mouvement de l'azote dans le sol ; (3) de repérer les travaux portant sur les transferts à partir de granules d'engrais.

Mots-clés : azote, apport localisé, transfert, modèle.

Introduction

En France, environ 7 millions de tonnes d'engrais minéraux solides sont utilisées chaque année, dont 4 millions de tonnes d'engrais simples azotés. Dans le cadre de réflexions en cours sur l'utilisation de la fertilisation azotée comme levier pour favoriser la régulation des adventices, il est opportun de s'interroger sur les modes de placement existants pour les engrais et l'incidence de ces placements sur la croissance de la culture et des adventices. Il est également utile de s'interroger sur la possibilité de modéliser les transferts de l'azote dans le sol en particulier à partir d'un apport sous forme granulaire. L'objet de cette synthèse bibliographique est d'apporter des éléments de réponse à ces interrogations.

Les modes de placements de l'engrais et leurs incidences

La localisation de l'engrais peut répondre à différents objectifs : améliorer la disponibilité pour les plantes d'éléments peu mobiles, limiter la volatilisation de l'azote, réduire le risque de non solubilisation de l'azote en condition sèche ou encore réduire le nombre de passages sur la parcelle. Selon la situation, le terme de localisation est ainsi plus ou moins bien adapté pour traduire l'effet recherché : positionnement de l'engrais à proximité de la graine, ou enfouissement de l'engrais dans le sol.

Les différents types de localisation par rapport à la graine sont quant à eux fonction de l'effet recherché de la fertilisation (effet « starter » ou à plus long terme), et également des contraintes techniques rencontrées par les constructeurs de semoirs pour adapter leurs matériels (Brun and Martin, 2012).

Dans le cas d'un placement autour de la graine ou très proche de la ligne de semis, les doses doivent rester faibles pour éviter les problèmes de toxicité (Brun and Cohan, 2013). Dans le cas de placements plus distants avec des doses importantes, le problème de lessivage reste à considérer pour l'azote.

Concernant la compétition cultures/adventices, la littérature semble montrer l'intérêt des apports localisés d'azote par rapport aux apports en plein (en surface) pour les céréales de printemps (Blackshaw et al., 2002; Di Tomaso, 1995). A ce stade, il est difficile de savoir si les résultats obtenus sont généralisables à d'autres cultures, à différentes conditions pédoclimatiques et à différents types d'adventices (les conclusions étant parfois contradictoires (Cochran et al., 1990)). Par ailleurs, dans certaines études scientifiques, les techniques de placement de l'engrais dans le sol restent éloignées des usages des équipements agricoles actuels.

Les déplacements de l'azote dans le sol et leur modélisation

Dans le sol, les mouvements de l'azote sont soumis aux processus de diffusion, d'advection et de dispersion. Les transferts par advection et dispersion étant liés au mouvement de l'eau dans le sol, leur modélisation nécessite le recours soit à des modèles conceptuels à réservoirs (qui ne prennent en compte que le mouvement vertical), soit à la mise en équation plus générale des écoulements en milieu saturé (loi de Darcy) ou non saturé (équation de Richards). Lorsque les phénomènes physiques sont mis en équation, le mouvement des solutés est ensuite classiquement modélisé par l'équation dite d'advection-dispersion (qui intègre la diffusion moléculaire et hydrodynamique) (Feyen et al., 1998; Holzbecher, 2012; Mulla and Strock, 2008). Certains modèles conduisent à complexifier les équations fondamentales ou leur mise en œuvre pour représenter les comportements réels observés dans les sols. Dans le cas général, ces modèles physiques conduisent à des équations aux dérivées partielles dont la résolution analytique n'est envisageable que pour des cas particuliers (à une seule dimension sous certaines hypothèses simplificatrices). La résolution numérique reste elle-même délicate (notamment en 2 ou 3 dimensions) du fait du nombre de calculs nécessaires, du nombre de paramètres à définir et des règles de convergence numérique à respecter.

Les travaux menés sur les écoulements d'eau dans le sol et sur les transferts de soluté ont conduit les chercheurs à créer des applicatifs ou logiciels pour réaliser des simulations (Cannavo et al., 2008; ecobas.org, 2015). Ces applications sont souvent spécifiques à un contexte donné pour une étude à une seule dimension. Peu de logiciels polyvalents sont disponibles pour des études à une, deux ou trois dimensions.

Les transferts d'azote à partir d'un granule d'engrais

Concernant le transfert d'azote à partir d'un granule d'engrais, de nombreux travaux se sont intéressés à la cinétique de libération de l'azote dans un contexte d'élaboration de granules à libération lente ou contrôlée. Pour les granules conventionnels, la libération s'opère en moins d'une demi-journée dès que l'humidité dépasse une valeur critique. Concernant la migration de l'azote dans le sol à partir d'un granule d'engrais, les modèles existants ne considèrent qu'un déplacement par diffusion (Le Cadre, 2004). L'expression de la concentration est alors établie analytiquement comme une fonction du temps et de la distance à la source après prise en compte d'hypothèses simplificatrices (Crank, 1975).

Références bibliographiques

- Blackshaw, R.E., Semach, G., Janzen, H.H., 2002. Fertilizer application method affects nitrogen uptake in weeds and wheat. *Weed Science* 50, 641-641.
- Brun, D., Cohan, J.P., 2013. Fertilisation sur orge de printemps - L'urée, un engrais à localiser avec précaution. *Perspectives Agricoles*, 14-18.
- Brun, D., Martin, M., 2012. Dossier fertilisation - Matériels - Cinq modes de localisation de l'engrais. *Perspectives Agricoles*, 22-24.
- Cannavo, P., Recous, S., Parnaudeau, V., Reau, R., 2008. Modeling N dynamics to assess environmental impacts of cropped soils. *Advances in Agronomy* 97, 131-174.
- Cochran, V., Morrow, L., Schirman, R., 1990. The effect of N placement on grass weeds and winter wheat responses in three tillage systems. *Soil and Tillage Research* 18, 347-355.
- Crank, J., 1975. *The mathematics of diffusion*. Oxford University Press, London.
- Di Tomaso, J.M., 1995. Approaches for improving crop competitiveness through the manipulation of fertilization strategies. *Weed Science*, 491-497.
- ecobas.org, 2015. Register of Ecological Models (REM) <http://ecobas.org/www-server/index.html>, consulté le 03/08/2015.
- Feyen, J., Jacques, D., Timmerman, A., Vanderborght, J., 1998. Modelling water flow and solute transport in heterogeneous soils: A review of recent approaches. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 231-256.
- Holzbecher, E., 2012. *Environmental modeling: using MATLAB*. Springer.
- Le Cadre, E., 2004. Modélisation de la volatilisation d'ammoniac en interaction avec les processus chimiques et biologiques du sol, *Le modèle Volt'Air*. Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris, p. 211.
- Mulla, D.J., Strock, J.S., 2008. Nitrogen transport processes in soil, In: Schepers, J.S., and Raun, W.R. (Ed.), *Nitrogen in agricultural systems*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 667 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.

Mise au point d'un dispositif expérimental pour caractériser le tropisme racinaire

H. Busset, D. Moreau, A. Matejicek

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : hugues.busset@inra.fr annick.matejicek@inra.fr

Résumé

Le tropisme racinaire correspond à l'orientation des racines au sein d'un système racinaire. On parle de gravitropisme positif lorsque le système racinaire s'étend principalement dans une direction verticale, et de plagiotropisme lorsque la direction est principalement horizontale, toutes les situations existant entre ces deux extrêmes. Notre objectif a été de mettre au point un dispositif permettant l'étude du tropisme racinaire adapté à une majorité d'espèces herbacées annuelles (adventices et cultivées, monocotylédones et dicotylédones), et permettant une croissance en 3-D du système racinaire. Le dispositif est constitué d'un bac contenant du sol, ainsi que des cadres grillagés empilés les uns sur les autres, afin de localiser la position des racines par leurs coordonnées (x, y) sur les différents cadres situés à différentes profondeurs dans le bac. Nous illustrons l'utilisation de ce dispositif pour caractériser le tropisme de deux espèces adventices.

Mots-clés : Racine, tropisme, architecture, adventice, culture.

Contexte et objectif

Les adventices sont à l'origine d'importantes baisses de rendement et de qualité des récoltes, notamment en raison de la compétition qu'elles exercent vis-à-vis de la culture. Parmi les caractéristiques des plantes qui influencent les relations de compétition pour les ressources du sol, le tropisme racinaire joue un rôle important car il détermine l'orientation des racines. A ce jour, peu de travaux ont été conduits pour caractériser le tropisme racinaire des espèces adventices. Or il s'agit d'un enjeu important pour mieux comprendre les relations de compétition entre plantes cultivées et adventices. Des dispositifs existent pour l'étude du tropisme racinaire. Cependant, un grand nombre d'entre eux correspondent à des conditions de croissance très artificielles (croissance racinaire en 2-D, substrat artificiel, pots de petite taille). Parallèlement, caractériser le tropisme racinaire au champ est rarement adapté à l'étude de plantes herbacées aux racines fines : la présence de débris organiques dans le sol rend difficiles l'observation des racines, et la présence de mottes ne permet pas des conditions de sol homogènes, et donc une caractérisation de la diversité des espèces adventices dans des conditions similaires. Notre objectif a été de mettre au point un dispositif permettant l'étude du tropisme racinaire adapté à une majorité d'espèces herbacées annuelles (adventices et cultivées, monocotylédones et dicotylédones), et permettant une croissance en 3-D du système racinaire dans du sol.

Dispositif d'étude

Principe : Il s'agit de cultiver la plante à caractériser dans un bac contenant du sol, ainsi que des cadres grillagés empilés les uns sur les autres, afin de localiser la position des racines par leurs coordonnées (x, y) sur les différents cadres situés à différentes profondeurs dans le bac (Figure 1).

Dispositif : Il se compose d'un bac (360 x 270 x 320 mm) percé pour permettre le drainage, à l'intérieur duquel sont empilés 9 cadres en bois grillagés (maille 10 x 10 mm) posés sur un lit de 2 cm de billes d'argile (diam 8 mm). Chaque cadre est percé pour faire passer des tiges métalliques permettant de solidariser les cadres les uns aux autres, lors des manipulations. Le sol est un substrat facilitant l'observation des racines et le lavage du système racinaire, composé de 50% de terre argilo limoneuse tamisée, 25% d'attapulgite et 25% de sable de Biot N°3.

Culture des plantes : Dans chaque bac, la graine est semée au centre du cadre grillagé supérieur.

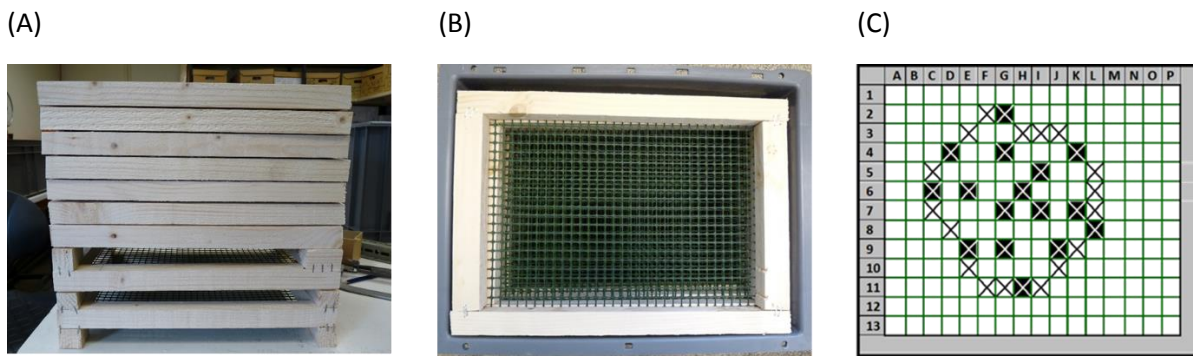


Figure 1 : Dispositif expérimental : Cadres grillagés empilés vus de profil (A) et du dessus (B). (C) Exemple de notations réalisées sur un cadre grillagé avec les croix noires pour indiquer le contour de la zone d'occupation des racines et les croix blanches pour les racines individuelles suivies.

Prélèvement : A une date donnée (idéalement lorsque les premières racines atteignent le fond du bac), un prélèvement destructif est réalisé pour caractériser la position des racines. Pour cela, l'ensemble des cadres solidarisés (ainsi que la plante dont le système racinaire est imbriqué dans les cadres grillagés) est sorti du bac. Le principe consiste alors à observer les racines successivement sur chacun des cadres. Pour les espèces présentées en Figure 2, nous avons commencé par faire des notations sur le cadre situé en position inférieure dans le bac. Lorsque les notations étaient réalisées sur un cadre grillagé (Cf. mode de notation ci-après), les racines dépassant étaient coupées, le cadre grillagé retiré, et un lavage était réalisé au jet d'eau pour faire tomber le sol et accéder au cadre suivant sur lequel les notations étaient effectuées de la même manière, et ainsi de suite jusqu'au dernier cadre (correspondant au cadre situé en position supérieure dans le bac).

Notations : Pour chaque cadre grillagé, deux types de notations étaient réalisées. (1) Le contour de la zone d'occupation racinaire était identifié (croix noires en Figure 1C) et (2) environ 15 racines (croix blanches en Figure 1C) étaient identifiées individuellement (par une étiquette) et repérées ensuite sur les différents cadres grillagés successivement observés.

Utilisation pour la comparaison d'espèces

Les données ainsi collectées ont été analysées pour comparer des espèces. La figure 2 montre la localisation de racines individuelles (avec un focus sur les racines les plus longues avec un plus gros diamètre) pour une plante de vulpie (A) et une plante de panic (B).

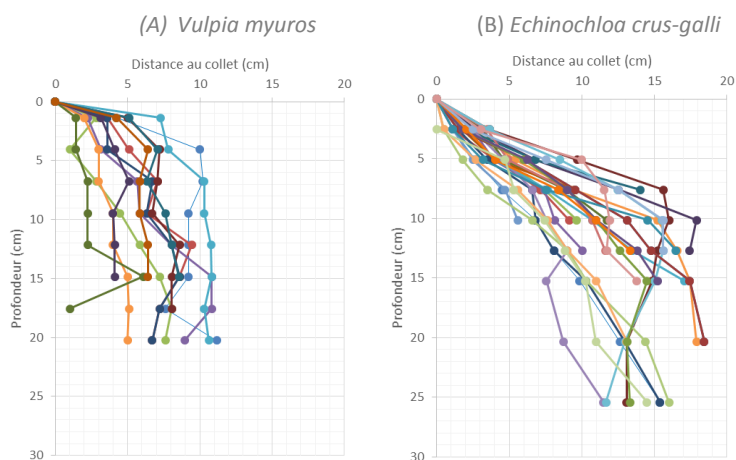


Figure 2 : Comparaison de deux espèces adventices par rapport à la localisation de racines individuelles. Pour une espèce donnée, une couleur correspond à une racine. Les points correspondent aux profondeurs auxquelles les mesures ont été faites. Par facilité, toutes les racines étudiées sont représentées dans un même plan et du même côté par rapport au positionnement du collet.

Ce dispositif a été mis au point pour comparer le tropisme racinaire entre espèces. Il est probablement également adapté à la comparaison de différents génotypes au sein d'une espèce ou à l'étude de la réponse d'une espèce ou d'un génotype à des facteurs environnementaux (par exemple, disponibilité en ressources, climat).

MODÈLES ET OUTILS

PRÉSENTATIONS ORALES

Comment représenter la dispersion des adventices dans les modèles : comparaison par analyse de sensibilité

B. Ricci ¹, W. Vieira ¹, N. Colbach ¹

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : benoit.ricci@inra.fr

Résumé

L'utilisation de modèles est une approche pertinente pour identifier des agencements d'habitats semi-naturels dans le paysage qui permettent à la fois de maîtriser les abondances d'adventices et de préserver leur rôle dans les services écosystémiques. La prise en compte de l'échelle du paysage nécessite d'inclure dans ces modèles la représentation du processus de dispersion de ces espèces. L'objectif de ce travail était d'explorer le comportement d'un modèle spatial à cette représentation de la dispersion par différentes courbes de dispersion. La variation des sorties de modèles a été analysée pour déterminer les effets relatifs des systèmes de culture, de la composition et de la structure du paysage. Il est apparu un plus faible effet du type de courbe de dispersion et du parcellaire que des occupations du sol et de leurs proportions.

Mots-clés : Adventices, modèle spatial, dispersion, paysage

Introduction

Les adventices sont cibles de nombreux traitements herbicides visant à réduire leur compétition avec la culture. La recherche de solutions agroécologiques nécessite de mobiliser l'ensemble des processus écologiques permettant de gérer ces espèces, parmi lesquels les effets du paysage sur la dynamique spatiale des populations. L'utilisation de modèles permet d'explorer des scénarios et d'expérimenter virtuellement, l'expérimentation à l'échelle du paysage étant difficile. Peu de modèles ont été développés à cette échelle concernant les adventices et ils prennent rarement en compte les successions culturales et l'effet des habitats semi-naturels. Le développement de tels modèles nécessite d'avoir des connaissances sur les distances de dispersion des espèces. Or les modes de dispersion diffèrent selon les adventices et les données sur les distributions des distances de dispersion sont coûteuses à acquérir. Compte tenu de ces informations partielles, nous proposons ici d'analyser le poids de la représentation de la dispersion dans la dynamique des adventices modélisée à l'échelle du paysage.

Méthode

Nous avons utilisé un modèle de dynamique de population spatialement explicite. Les paramètres démographiques ont été déterminés à partir de la bibliographie pour quatre espèces types (espèces de cultures d'hiver ou de cultures d'été, espèces à petites ou grosses graines) ayant des réponses contrastées au labour et à la période de semis. Le modèle s'appuie sur un parcellaire, chaque parcelle étant affectée à un des quatre types d'usage suivant : culture sans labour, culture sans herbicides, culture avec labour et herbicides ou prairie permanentes. A chaque pas de temps (annuel), les graines de l'année sont dispersées selon une courbe dont on peut spécifier la forme. Quatre courbes ont été comparées : gaussienne ; exponentielle; Weibull et 2Dt. Pour chaque courbe, une gamme de paramètres a été définie pour correspondre aux distances moyenne et maximale de 16 espèces d'adventices.

Neuf parcellaires contrastés (45 km²) issus de la carte du Département Côte d'Or – Bourgogne (RPG 2012) ont été utilisés. Pour chacun d'eux, différentes proportions des types d'usages ont été affectés : 100% de chacun des quatre types d'usage, 3 ou 50% de prairie permanente associée à chacun des trois autres types d'usage. Seule la parcelle centrale de chaque parcellaire a été affectée avec une densité initiale non nulle

(égale à la valeur de convergence en paysage homogène), les autres parcelles étant considérées comme exemptes d'adventices, ceci pour pouvoir suivre l'effet de la dispersion sur la propagation dans le paysage. La densité finale des graines et le temps au bout duquel tout le paysage était colonisé ont été mis en relation par analyse de variance avec le parcellaire, la composition du paysage et la représentation de la dispersion.

Résultats

L'organisation du parcellaire et des types d'usage dans le paysage ainsi que le type de courbes de dispersion influençaient significativement la quantité de graines adventices dans les types d'usage hors prairie ainsi que le temps pour coloniser l'ensemble du paysage (Tableau 1), mais les différentes sources de variabilité avaient des intensités d'effets très différentes. Les caractéristiques du paysage influençaient beaucoup plus (ω_{20s} moyenne = 57,1% ; ω_{2prop} moyenne = 19,8%) les sorties que les courbes de dispersion ($\omega_{2moyenne}$ = 0,0006%) et le parcellaire ($\omega_{2moyenne}$ = 0,002%). La variation de la quantité de graines dépendait du type d'occupation du sol mais pas de la proportion en prairie permanente. Il y avait cependant un effet d'interaction entre les courbes de dispersion et l'occupation du sol sur la quantité de graines à la fin de la simulation. Alors que les courbes 2Dt et Gaussienne conduisent à de plus fortes abondances dans les occupations conventionnelle et biologique, ce patron s'inverse dans l'occupation prairie où la courbe Exponentielle conduit des abondances plus fortes que la Gaussienne. Le temps pour coloniser l'ensemble du paysage était de 14,4 ans ($\pm$ SD=0,02) dans des paysages homogènes (sans prairie permanente), indifféremment du type de courbe de dispersion. Ce résultat était inchangé pour 3% de prairie permanente. En revanche, pour 50% de prairie permanente, cette durée dépendait légèrement du type de courbe. L'effet du parcellaire était plus fort sur le temps pour coloniser tout le paysage que sur la densité graines.

Tableau 1. Résultats de l'analyse de variance

Variable	DF	Densité de graines en culture hors prairie	Temps pour coloniser le paysage
		F	F
Courbe	3	427,4 *	841,5 *
Type d'usage	2	95031,8 *	3580,6 *
Proportion prairie	2	142,9 *	803,8 *
Parcellaire	8	72,0 *	114,5 *
Courbe x Type d'usage	6	384,4 *	23,0 *
Courbe x prop. prairie	6	200,6 *	908,7 *
Courbe x parcellaire	24	18,8 *	11,7 *
Type d'usage x parcellaire	16	28,1 *	24,2 *
Prop. prairie x parcellaire	16	34,9 *	94,5 *

Discussion

Les résultats des simulations ont montré que les occupations du sol dans le paysage et leurs proportions jouaient plus sur la dynamique des adventices que la nature et la forme de la courbe de dispersion. L'effet du parcellaire a été faible même s'il est apparu que le temps pour couvrir tout le parcellaire augmentait avec le nombre de parcelles. Cette analyse de sensibilité a été conduite en considérant pour chaque courbe des valeurs de paramètre cohérente avec la gamme des distances de dispersion connues pour les espèces adventices. Dans ces conditions, la plus forte différence entre distance maximale de dispersion entre les différentes combinaisons de paramètres est de 200 mètres. Le faible effet de la représentation de la dispersion indique donc que cette variation ne serait pas perceptible à l'échelle d'un paysage de plusieurs dizaines de kilomètres carrés. Une des perspectives de ce travail est de prendre en compte la dispersion par les outils agricoles de travail du sol et de récolte qui peuvent générer des événements à grande distance.

Financements

Ce travail a bénéficié du soutien financier du projet CoSAC (ANR-14-CE18-0007).

Prototypes d'outil d'aide à la décision à partir de FLORSYS pour la gestion intégrée des adventices

F. Colas ¹, J. Villerd ², N. Colbach ¹

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

² LAE, INRA, Univ. Lorraine, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

Correspondance : floriane.colas@inra.fr

Résumé

Afin de transformer FLORSYS en un outil d'aide à la décision pour aider à la gestion intégrée des adventices, nous avons développé des prototypes s'appuyant sur de la fouille de données des simulations déjà réalisées avec FLORSYS. Afin de s'adapter aux contraintes des agriculteurs, nous avons utilisé une méthode de régression multiple en deux vagues, la première sur des variables de situation de production et la seconde sur des pratiques culturales, fournissant ainsi un prototype de guide des pratiques efficaces pour la gestion des adventices.

Mots-clés : outil d'aide à la décision, prototype, arbre de décision, adventices, modèle

Introduction

La combinaison de pratiques est indispensable pour réduire l'utilisation des herbicides tout en contrôlant la flore adventice, mais prévoir les effets des combinaisons est complexe. C'est pourquoi il est nécessaire d'avoir un outil permettant d'évaluer les effets et aider à définir des stratégies de gestion. Le modèle "parcelle virtuelle" FLORSYS (Colbach et al., 2014) permet l'évaluation de systèmes de culture combinant de nombreuses pratiques culturales mais il est complexe à utiliser. Notre objectif est donc de développer un outil d'aide à la décision (OAD) dont le cœur est basé sur FLORSYS et dont la forme est développée avec des futurs utilisateurs. Nous avons tout d'abord réalisé des enquêtes et des ateliers avec les futurs utilisateurs pour identifier leurs besoins en termes d'OAD, en définissant les utilisations, entrées et sorties de l'outil. A partir de ces informations, nous avons adapté les entrées pour l'analyse de sensibilité et la méta-modélisation de FLORSYS vers des prototypes pour l'OAD.

Matériels et Méthodes

Nous avons simulé 255 systèmes existants dans 7 régions avec FLORSYS, puis fait de la fouille de données à l'aide d'arbres de régression (CART) multivariés sur les indicateurs d'impact de la flore adventice sur la production agricole et la biodiversités simulés. Pour tenir compte des variables non modifiables par un agriculteur, nous avons fait une première vague d'arbre de régression pour définir des situations de production, à partir des variables caractérisant les conditions climatiques (taux d'ensoleillement, température minimale en été....) et sol (texture du sol, % de calcaire...) (Lechenet et al., 2016). Puis, pour chaque situation de production, nous avons fait une deuxième vague d'arbre de régression prédisant les indicateurs d'impact de la flore considérés comme importants par les agriculteurs à partir des variables de pratiques culturales.

Résultats

Les valeurs des indicateurs d'impact de la flore des 255 systèmes de culture existant simulés dans FLORSYS se différencient par la profondeur du sol, la teneur en calcaire dans la couche de surface et le nombre de jour de pluie en été (Figure 1). En sélectionnant une situation de production précise : sol profond (≥ 67.5 cm) et situations pluvieuses en été (≥ 54 jours de pluie) on retrouve des systèmes principalement composés de cultures de printemps avec un travail du sol profond et peu d'usage d'herbicides, d'où les valeurs très faibles dans l'arbre. L'arbre de décision des pratiques réalisées dans ces systèmes montrent que les stratégies qui limitent la nuisibilité des adventices (perte de rendement, salissement de la parcelle, pollution de la récolte)

sont aussi celles qui limitent l'offre trophique pour pollinisateurs. Dans cette situation de production, la nuisibilité est la plus faible en combinant semis de printemps, travail du sol peu fréquent (moins de 2 fois par an) et tardif (au moins 6 mois après la récolte).

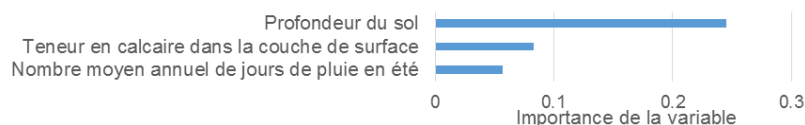


Figure 1 : Importance de l'effet des variables des situations de production sur les indicateurs de l'intensité d'usage herbicide (IFT herbicide) et d'impact de la flore adventice sur la biodiversité (ex. Richesse spécifique, offre trophique pour les pollinisateurs) et la production agricole (ex. perte de rendement, pollution de la récolte). Importances calculées avec un arbre de régression multivarié (package mvpart de R).

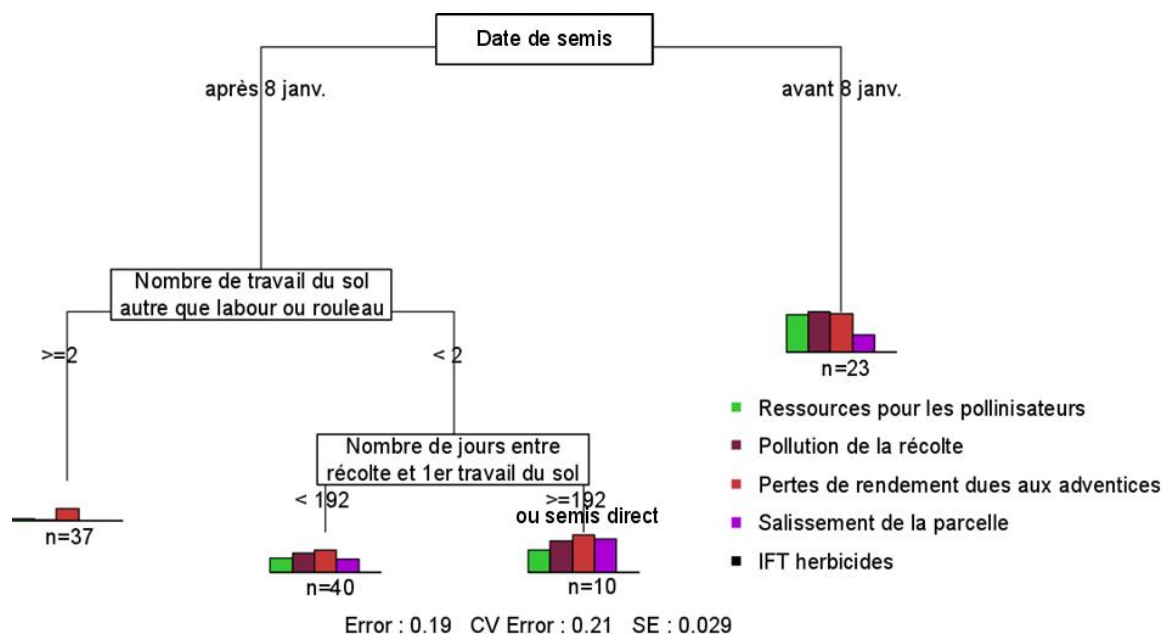


Figure 2 : Arbre de régression multivarié (CART) pour une situation de production : sol profond (≥ 67.5 cm) et situations pluvieuses en été (≥ 54 jours de pluie)

Conclusions

Ces arbres de régression sont établis pour différentes situations de production et rendent ainsi compte des contraintes des agriculteurs. Ce prototype de l'OAD sera testé dans des ateliers avec des agriculteurs et servira de base de discussion pour améliorer la description des techniques et pratiques culturales en entrée de l'OAD et la mise en forme des sorties. Les 255 systèmes de culture utilisés pour construire les arbres de régression ne sont pas suffisamment divers et innovants pour identifier des stratégies contrôlant la nuisibilité et promouvant les bénéfices de la flore. Nous testons actuellement de nombreux autres systèmes pour étendre les stratégies incluses dans les arbres.

Financements

INRA (départements : EA et MalAGE), le projet CoSAC (ANR -14 -CE18CE18CE18 -0007) et la région Bourgogne.

Références

- Colbach, N., Biju-Duval, L., Gardarin, A., Granger, S., Guyot, S. H. M., Mézière, D., Munier-Jolain, N. M., Petit, S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research* 54, 541-555.
- Lechenet M., Makowski D., Py G., Munier-Jolain N., 2016. Profiling farming management strategies with contrasting pesticide use in France. *Agricultural Systems*, 149, 40-53.

L'hétérogénéité des données au sein du projet Cosac

Enjeux et solutions

J. Villerd ¹, F. Brun ², O. Jolys ³, P. Métais ⁴, N.M. Munier-Jolain ³, O. Pointurier ³, F. Vuillemin ⁵

¹ LAE, INRA Univ. Lorraine, F-54518 Vandœuvre-lès-Nancy, France

² ACTA, INRA, UMR 1248 AGIR Castanet Tolosan cedex, France

³ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

⁴ ARVALIS Institut du végétal, Biopôle Clermont Limagne, 63360 Saint Beuzire

⁵ Terres Inovia, Avenue Lucien Brétignières, 78 850 Thiverval-Grignon

Correspondance : jean.villerd@univ-lorraine.fr

Résumé

Les données considérées dans le cadre du projet CoSAC sont fournies par les différents partenaires utilisant des protocoles différents, leurs propres référentiels et formatages de données. L'intégration de ces données dans une base de données commune est une étape indispensable pour mener à bien les différentes tâches d'analyse et d'exploitation de ces données capitalisées. L'intégration de données hétérogènes n'est pas un problème trivial et sa résolution réside dans des choix techniques mais aussi dans un consensus d'experts autour des référentiels retenus. Cet exposé offrira un panorama des problématiques liées à l'intégration de données hétérogènes et de leurs solutions. Nous préciserons celle retenue dans le cadre du projet CoSAC.

Mots-clés : gestion des données, référentiels, intégration de données, qualité des données, données hétérogènes

Contexte, enjeux

Les données ont toujours été au cœur de la recherche. La nouveauté est que, depuis une quinzaine d'année, la croissance de la production de données est telle que l'enjeu de l'organisation et de l'analyse des données disponibles est devenu aussi prégnant que la production des données elles-mêmes. Afin de répondre à cet enjeu du *Big Data* et de ne pas être emporté par le « déluge de données », de nouvelles méthodes et bonnes pratiques ont vu le jour. Elles sont finalement en passe de s'imposer comme standard y compris pour les jeux de données de volumes habituels mais très hétérogènes, tels que ceux manipulés dans le cadre du projet CoSAC. En effet elles permettent de résoudre plusieurs problèmes inhérents à la manipulation de données hétérogènes dans le cadre des projets multi-partenaires et issus de différentes expérimentations, non planifiées initialement comme faisant partie d'un même réseau d'essai.

Un premier problème concerne la réutilisation de données anciennes, par exemple dans le cadre d'une méta-analyse, c'est-à-dire une synthèse de connaissance quantitative, ou bien en vue d'être comparées à des résultats de simulations comme c'est le cas dans le cadre du projet CoSAC. Pour pouvoir être réutilisées, elles doivent être accompagnées de données sur les données elles-mêmes – les métadonnées – fournissant les informations relatives au contexte dans lequel elles ont été produites. Par exemple, les métadonnées accompagnant des données floristiques incluent la date, la localisation géographique du relevé, la méthode de prélèvement, des informations sur l'environnement, etc. Les métadonnées assurent ainsi la traçabilité et, donc, la qualité des données. En ce sens elles sont un élément clé de la reproductibilité en recherche.

Au-delà des métadonnées de premier niveau tels que la date et le lieu, les informations plus complexes nécessitent de se rattacher à des référentiels afin de pouvoir être comprises par les futurs réutilisateurs. Ainsi la métadonnée fournissant le type de sol sur lequel le relevé floristique a été effectué a tout avantage à utiliser un référentiel connu pour décrire le type de sol. Ces standards prennent la forme d'ontologies, i.e. de formalisations des concepts d'une discipline (ici la pédologie). L'ontologie identifie de façon unique chaque concept de la discipline (par exemple chaque type de sol) au moyen d'une URI (*Uniform Resource Identifier*). Utiliser une URI pour décrire le type de sol du relevé assure que chaque réutilisateur examinant les métadonnées saura retrouver l'information du type de sol, quelle que soit sa langue, et pourra en parcourant

l'ontologie situer le type de sol considéré parmi les autres concepts de la discipline, traduire le type de sol dans sa langue ou trouver son équivalent dans un autre référentiel. A terme, l'ensemble des données ainsi sémantisées et stockées dans des entrepôts de données constituent le « web des données » (*web of data*). L'intérêt de ces données liées (*linked data*) via les ontologies est qu'elles sont interrogeables par les technologies de web sémantique. Il serait ainsi possible d'interroger l'ensemble des données étiquetées par l'URI d'un certain type de sols ou d'effectuer des requêtes plus complexes.

Ces aspects dépassent largement le cadre de la gestion des données du projet CoSAC. Néanmoins, ces bonnes pratiques – étiquetage par des métadonnées, sémantisation par des ontologies, archivage dans des entrepôts – sont bénéfiques y compris pour des données utilisées localement dans le cadre d'un projet car elles assurent leur traçabilité et leur réutilisabilité future.

Les données dans CoSAC

Les données mobilisées dans le projet sont issues d'une compilation de différentes expérimentations passées chez différents partenaires (INRA, Arvalis, Terres Inovia,...) pour répondre à des questions très variées. Ainsi, ces données sont caractérisées par différents niveaux d'hétérogénéité : (i) hétérogénéité syntaxique : différents formats de stockage (tableur, base de données relationnelle) ; (ii) hétérogénéité structurelle : différents schéma de données, i.e. différents découpages, différents noms de colonnes ; (iii) hétérogénéité sémantique : absence de référentiel ou de vocabulaire partagés. Un groupe de travail regroupant les différents partenaires fournisseurs de données a été constitué. Nous exposerons les différentes solutions identifiées et étudiées. Le choix de la solution retenue a dû tenir compte à la fois de contraintes techniques, de contraintes temporelles et des moyens humains disponibles pour intégrer l'ensemble de ces données. Ceci explique que le choix ne se soit pas porté vers la solution la plus complète au vu des enjeux énumérés précédemment (mais aussi la plus coûteuse à mettre en œuvre). La solution retenue prend la forme d'un fichier structuré (format csv) utilisant un format d'identifiant unique et des référentiels permettant d'assurer l'interopérabilité des données. Toutefois la prise en considération de ces enjeux a permis d'identifier les différents impératifs correspondant aux différentes réutilisations des données : méta-analyse, entrées de modèles, etc.

L'exemple des données stockées dans Agrosyst

Nous illustrerons l'étape effective d'intégration au travers des données Dephy stockées dans le SI Agrosyst et montrerons comment l'utilisation d'une base de données assure la pérennité de l'interopérabilité entre Agrosyst et le modèle FLORSYS.

Analyse des données

Les méthodes de synthèse de connaissance quantitative comme l'analyse des réseaux d'essais ou la méta-analyse, basée sur la valorisation de la littérature doivent nous permettre d'extraire des connaissances de ces données hétérogènes. Par ailleurs, la modélisation profitera de ces données variées pour des améliorations dans les formalismes, mais aussi pour l'évaluation de la qualité de prédiction de ces outils.

Conclusion

Nous concluons par les leçons tirées par cette expérience, notamment par la nécessité de prendre en considération la question de la gestion des données très en amont. Ainsi, de nombreux appels à projets recommandent aujourd'hui l'établissement d'un « data management plan » dans les premiers mois du projet. Collectivement, on peut également se poser la question du minimum de métadonnées nécessaires pour une mise en commun et leur utilisation dans les travaux de modélisation.

Références bibliographiques

Conseil scientifique de l'Inra, 2012. Rapport du groupe de travail sur la gestion et le partage des données

Modélisation de la résistance aux herbicides dans FlorSys : introduction d'un module permettant de simuler l'évolution conjointe de la résistance liée à la cible et non liée à la cible

Valérie Le Corre, Christophe Délye, Nathalie Colbach

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : valerie.le-corre@inra.fr

Résumé :

L'évolution des résistances aux herbicides est un phénomène préoccupant chez un nombre croissant d'espèces adventices. Les données récentes montrent que dans la plupart des cas, deux mécanismes de résistance coexistent dans les populations concernées : d'une part une résistance dite « liée à la cible », causée par une mutation ponctuelle dans le gène codant pour l'enzyme ciblée par l'herbicide, et, d'autre part, une résistance « non liée à la cible » associée par exemple à une capacité accrue des plantes à métaboliser la molécule herbicide. Les résistances non liées à la cible sont causées par des facteurs génétiques multiples et encore peu connus. Nous proposons d'introduire dans FLORSYS un nouveau module permettant de simuler l'évolution conjointe d'une résistance liée à la cible, monogénique, et d'une résistance non liée à la cible et multigénique. Pour simuler cette dernière, un modèle simple basé sur la génétique quantitative est utilisé.

Mots-clés : herbicide, résistance, génétique, modélisation.

Introduction

La gestion durable des adventices fait appel à la complémentarité des techniques chimiques, mécaniques et agronomique. En ce qui concerne la gestion chimique, très peu de nouveaux herbicides sont mis sur le marché, tandis que beaucoup ont été retirés pour des raisons toxicologiques. La diversité des herbicides utilisables s'est donc fortement réduite. Suite à l'usage répété des mêmes modes d'action, en particulier les « inhibiteurs de l'ALS », on constate une augmentation des cas de résistance. Celles-ci sont de deux types : d'une part les résistances « liées à la cible » causées par une mutation dans le gène de l'enzyme ciblée par l'herbicide, et d'autre part les résistances « non liées à la cible », faisant intervenir divers mécanismes tels que la détoxification par métabolisation (Délye et al. 2013). Ces résistances, encore mal connues, sont due aux effets cumulatifs de plusieurs gènes. Des résultats récents suggèrent qu'elles évoluent fréquemment au champ; pourtant leur mode d'évolution conjointement à la résistance de cible reste mal connu.

Matériels et Méthodes

L'objectif final du projet est d'introduire dans le modèle FLORSYS un module permettant de simuler pour une ou plusieurs espèces adventices l'évolution de résistance à un herbicide via des mutations du gène cible et via un mécanisme non lié à la cible, multigénique. Etant donné la complexité du modèle génétique nécessaire, il a été décidé de construire dans un premier temps un modèle indépendant de génétique des populations. Ce modèle simule une ou plusieurs populations de plantes annuelles, pouvant être connectées par des flux de pollen et de graines. La croissance démographique de chaque population suit un modèle logistique. Chaque plante est simulée individuellement sous la forme d'un génotype constitué de n gènes. A chaque gène deux allèles sont possibles, l'un sensible (S), l'autre conférant la résistance (R). Pour la résistance

non-cible, un modèle quantitatif simple est considéré, où le niveau de résistance est défini par le nombre total d'allèles « R » aux gènes impliqués.

Résultats

De grandes tailles de populations augmentent la probabilité de mutation et favorisent la résistance de cible, tandis que la résistance non-cible est favorisée par une fréquence initiale relativement élevée des allèles « R ». Les simulations montrent une synergie entre les deux mécanismes : l'évolution initiale et progressive de la résistance non-cible permet un maintien de la taille des populations, ce qui augmente la probabilité d'apparition d'une mutation de cible. Deux conditions d'efficacité de l'herbicide ont été comparées, faible et forte. Une faible efficacité favorise l'évolution de la résistance, les deux mécanismes étant possibles. Une forte efficacité permet un meilleur contrôle, mais sélectionne davantage de résistance non liée à la cible.

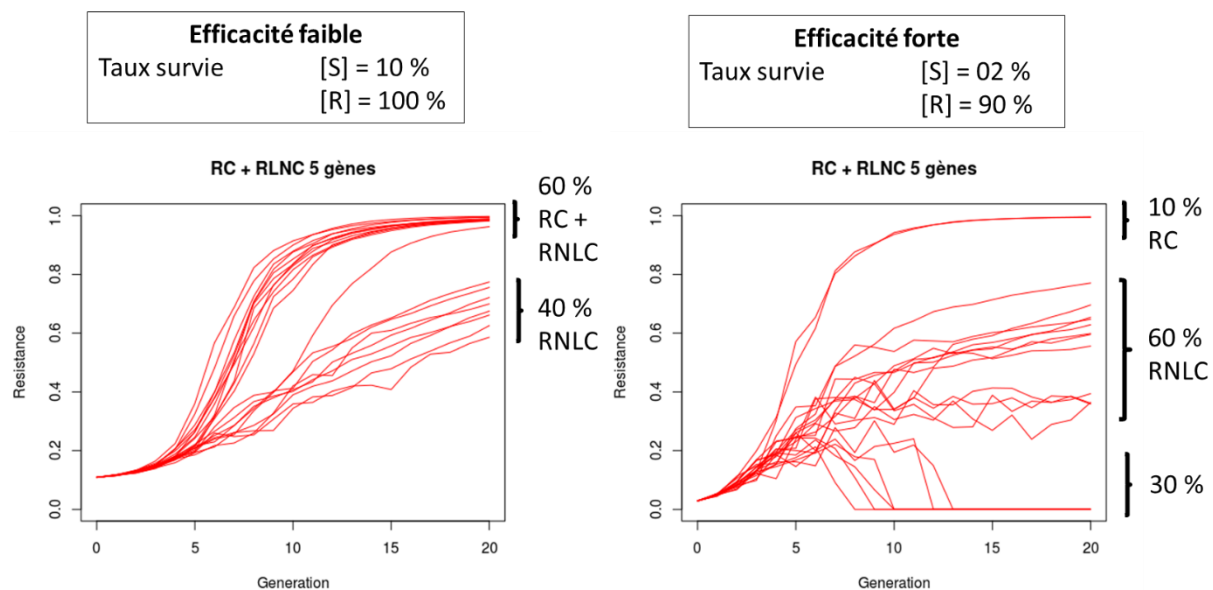


Fig. 1. Evolution conjointe de résistance de cible (RC) et non liée à la cible (RNLC) dans une population soumise de façon continue à un herbicide à efficacité faible ou forte.

Conclusions

Nos résultats mettent en évidence les paramètres de génétique des populations qui conditionnent l'évolution de la résistance. Par la suite, davantage de scénarios pourront être testés, et une version simplifiée du modèle sera implémenté dans FLORSys afin de prendre en compte l'ensemble des paramètres biologiques et agronomiques.

Références bibliographiques

Délye C, Jazieniuk M, Le Corre V (2013) Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. Trends in Genetics 29, 649-658.

Évaluation de la valeur pollinisatrice de la flore adventice de différents systèmes de culture

C. Bockstaller ¹, J. Villerd ^{2,3}, B. Meyer ¹, C. Rabolin ¹, C. Schneider ¹, N. Colbach ³

¹ UMR Agronomie et Environnement (LAE), INRA, Université de Lorraine, 68000 Colmar, France

² UMR Agronomie et Environnement (LAE), INRA, Université de Lorraine, 54500 Vandœuvre, France

³ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : christian.bockstaller@inra.fr

Résumé

Les adventices dans les écosystèmes agricoles, en bord de champ comme dans la parcelle, sont une source de nectars et de pollen pour les pollinisateurs. Un indicateur évaluant la valeur pollinisatrice à partir des traits floraux a été développé pour différents groupes, abeilles, bourdons, syrphes, d'une part et papillons de l'autre. Deux méthodes d'agrégation de cet indicateur avec les sorties du modèle FLORSYS sont testées pour un ensemble de 181 systèmes de culture simulés sous FLORSYS.

Mots-clés : Indicateur, traits floraux, abeilles, papillons, agrégation

Introduction

Les adventices dans les écosystèmes agricoles, en bord de champ comme dans la parcelle, sont une source de nectars et de pollen pour les différents pollinisateurs. Pour évaluer leur valeur pollinisatrice à partir de la flore observée sur le terrain ou simulée par des modèles, nous avons développé des indicateurs utilisant l'information disponible sur les traits floraux sur les pollinisateurs pris en compte, abeilles (domestiques et sauvages), bourdons, syrphes (Ricou et al., 2014) et papillons (Meyer, 2014). Cet indicateur est calculé à partir des densités adventices prédites par le modèle FLORSYS (Mézière et al., 2015) pour chaque campagne culturale d'un système de culture. L'objectif de la présentation est de présenter les résultats de comparaison de deux méthodes d'agrégation. À terme, ces indicateurs contribueront à l'évaluation multicritère des systèmes de culture.

Matériel et méthode

Les densités d'aventices sont obtenues à partir du modèle FLORSYS mis en œuvre pour 181 systèmes de culture.

L'indicateur de valeur pollinisatrice sous forme de note entre 0 et 10 est calculé à partir des traits floraux des espèces végétales à l'aide d'un arbre de décision associant des sous-ensembles flous pour éviter les effets de seuil (Tableau 1). Les règles pour abeilles et bourdons incluent en plus le reflet UV (attraction visuelle), la symétrie et la forme de la fleur (accessibilité) et la quantité/qualité de pollen (récompenses).

Deux méthodes d'agrégation des densités et valeurs pollinisatrices journalières sont comparées :

- une méthode calculant la contribution journalière I_d à partir d'une somme des densités pondérée par la valeur pollinisatrice :

$$I_d = \sum_{s=1}^n \log_{10}(p_s * variable_{sd} + 0.0001)$$

où p_s est la valeur pollinisatrice de l'espèce s , $variable_{sd}$ est le nombre de plantes en fleurs de l'espèce s au jour d prédit par FLORSYS

- une méthode agrégeant les deux variables, densités et valeurs pollinisatrices, par un arbre de décision associant des sous-ensembles flous, pour éviter les compensations entre les deux variables,

c.-à-d. qu'une bonne valeur pollinisatrice et une faible densité donne même résultat qu'une mauvaise valeur pollinisatrice et une densité élevée. Le Tableau 2 montre les valeurs de l'indicateur journalier I_d pour les valeurs seuils de densités et valeurs pollinisatrices.

Dans les deux cas, la valeur journalière I_d est agrégée au niveau de la campagne culturale:

$$I = \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D I_d$$

où D est le nombre de jours de la période d'intérêt [1 mars - 1 novembre]

Tableau 1 : Règles de décision pour l'arbre donnant la valeur pollinisatrice des adventices (valable pour les 6 familles de papillon). Les pourcentages représentent les poids des variables dans l'arbre.

Variable	Facteur estimant chaque variable	Règles de décision (F= favorable, D= défavorable)							
Attraction visuelle (30 %)	Couleur Taille fleur/inflorescence	F				D			
Accessibilité (20 %)	Famille botanique	F		D		F		D	
Récompense (50 %)	Quantité/qualité nectar	F	D	F	D	F	D	F	D
Valeur pollinisatrice		10	4	8	3	5	2	4	0

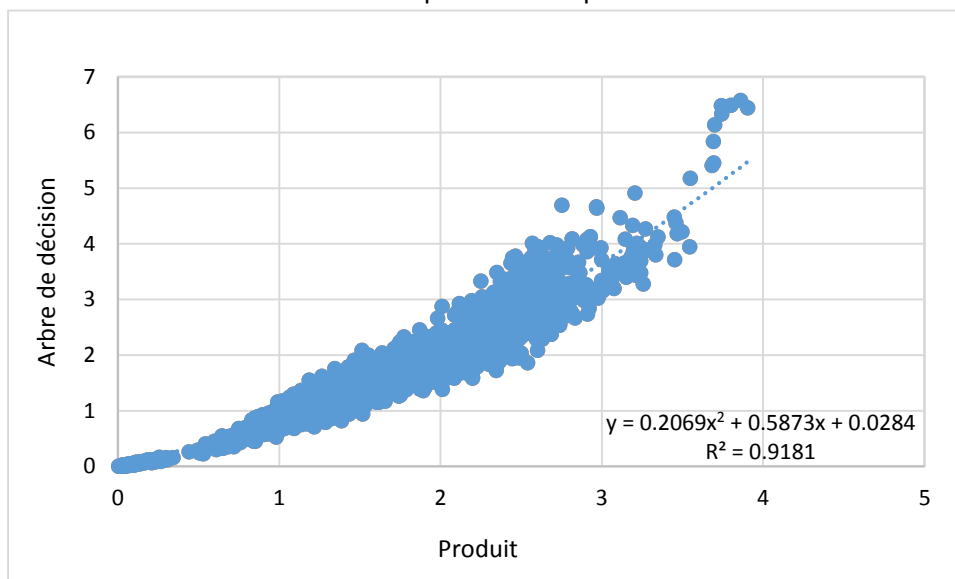
Tableau 2 : Règles de décision pour l'agrégation de la densité d'adventices et la valeur pollinisatrice (densité défavorable (D) = 0,1 plante/m² ; densité favorable (F) = 100 plante/m². Valeurs pollinisatrice D=0 ; F=10)

Variable	Facteur estimant chaque variable	Règles de décision (F= favorable, D= défavorable)			
Densité adventice	Sortie FLORSYS	F		D	
Valeur pollinisatrice	Tableau1	F		D	
Indicateur journalier I_d		10		5	

Résultats et discussion

Les deux méthodes d'agrégation donnent des résultats fortement corrélés (Figure 1). La méthode basée sur l'arbre de décision permet une meilleure dispersion des valeurs. Pour chaque méthode d'agrégation, les résultats sont fortement corrélés ($R^2 > 0,94$) entre les différents pollinisateurs ce qui peut indiquer que la densité a un plus fort poids que la composition botanique.

Figure 1 : Comparaison des valeurs d'indicateurs prédites par entre les deux méthodes d'agrégation de la densité d'adventice et de la valeur pollinisatrice pour les abeilles.



Références bibliographiques

- Meyer B. 2014 Mémoire M2, Université Haute-Alsace, Colmar, France. 81 p.
Mézière D. et al. 2015. Ecological Indicators 48, 157-170
Ricou et al. 2014 Ecological Indicators 48, 157-170

POSTERS

Évaluation du modèle de dynamique de flore multispécifique FLORSYS. Analyse d'incertitude, domaine de validité, erreur de prédiction et règles d'utilisation

Nathalie Colbach

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : Nathalie.Colbach@inra.fr

Résumé

L'objectif est de faire la synthèse des différentes études d'évaluation de FLORSYS (Colbach *et al.*, 2016; Colbach *et al.*, 2006; Colbach *et al.*, 2014; Gardarin, 2008) et d'évaluer la dernière version de FLORSYS pour déterminer son domaine de validité, son erreur de prédiction, les processus à améliorer ou rajouter et des règles d'utilisation. L'évaluation de FLORSYS s'est faite en plusieurs étapes, analysant : (1) la cinétique et la densité de levée des adventices et de la survie du stock semencier en fonction des conditions thermiques, hydriques et structurales du sol, et des traits d'espèces, (2) la pénétration de la lumière dans les couverts hétérogènes, (3) la dynamique des adventices (nombre de plantes, stock semencier, biomasse) dans les systèmes de culture, (4) le rendement des cultures.

Mots-clés : modèle, validation, dynamique adventice, rendement, prédiction

Introduction

FLORSYS est un modèle mécaniste issu de l'agrégation d'expérimentations et de connaissances expertes réalisées par différentes équipes. Avant de l'utiliser pour évaluer et concevoir des systèmes de culture, il est indispensable d'établir son domaine de validité et son erreur de prédiction ainsi que d'identifier ses lacunes.

Matériel et méthodes

Différentes méthodes ont été combinées pour faire face à la complexité du modèle, en termes de modules, variables de sortie et temps de calcul. D'abord, le domaine de validité potentiel a été déterminé à partir de la structure du modèle (Tableau 1.A). Ensuite, des modules-clés ont été évalués à partir d'observations indépendantes provenant d'expérimentations mises en place pour cet objectif (Tableau 1.B). Enfin, le modèle complet a été évalué à partir d'observations provenant d'essais *système* (INRA Dijon-Époisses, Versailles-Lacage) et du réseau Biovigilance-Flore (Colbach *et al.*, 2016). Cette dernière étape a été refaite ici avec la dernière version de FLORSYS (2016) qui inclut aussi des plantes adventices estivales et corrige certaines déficiences mises en évidence pour la version 2013 (ex. surestimation de l'efficacité de conversion de la lumière en biomasse).

Résultats et Discussion

La comparaison des observations du site le mieux documenté aux simulations de FLORSYS.2016 montre que le modèle prédit généralement correctement toutes les variables par espèce, en termes de classement des valeurs (colonne 6 > 0.5 pour les lignes par espèce, Tableau 1.C), et que l'erreur de prédiction est acceptable (colonne 5 < 120% ou sans conclusion pour les lignes par espèce, ou colonne 8 > 0.80). La prédiction est moins bonne pour les variables sommées sur toutes les espèces vs. par espèce, ainsi que pour les variables au pas-de-temps journalier vs. moyennées sur la rotation. La flore adventice est souvent surestimée et la production agricole sous-estimée (colonne 4). Cependant, la flore est souvent trop variable sur le terrain pour conclure (cases grises dans les colonnes 4 et 5).

Les modifications dans la version 2016 ont amélioré la prédiction de la biomasse des adventices et des variables sommées sur toutes les espèces (Colbach *et al.*, 2016). Ce sont les variables les plus importantes pour calculer les indicateurs de l'impact de la flore adventice. En contrepartie, la prédiction des densités de plantes et du rendement s'est détériorée un peu. À l'exception de ces changements, le tableau de conseils pour l'utilisation de FLORSYS établi dans notre étude précédente (Colbach *et al.*, 2016) reste valable.

Tableau 1. Domaine de validité et évaluation ("validation") de FLORSys

A. Analyse de la structure du modèle

Processus	Ce qui est bien prédit	Limites du domaine de validité
Reproduction	25 espèces adventices annuelles	Pas de pérennes
Disponibilité en eau	Climat tempéré, champs irrigués	Surement les espèces sensibles à la sécheresse
Disponibilité en N	Champs bien fertilisés	Surement les espèces nitrophiles si peu de N
Phénologie	Latitude Bourgogne	Décalage des floraisons des espèces sensibles à la photopériode

B. Validation de modules

Processus	Ce qui est bien prédit	Limites du domaine de validité
Vagues de levée après maturité, pluie ou travail du sol	Date, densité	Densité de levée surestimée (Colbach et al., 2006) si "fonte de semis"
Pénétration de la lumière dans des couverts hétérogènes	Rayonnement photosynthétiquement actif	Sauf jours nuageux en hiver (Munier-Jolain et al., 2013)
Survie du stock semencier	Ordre de grandeur, classement	Surement les densités en surface en semis direct (Colbach et al., 2006)

C. Modèle complet (à partir des observations de l'essai système de l'INRA Dijon-Époisses)

Variable	Échelle spécifique	Pas-de-temps	Biais relatif (%) [§]	Erreur de prédiction relative (%) [§]	Proportion des observations correctement prédites				
					Moyennes au pas-de temps		Dynamique journalière ^x		
					Proportion &	En termes de	Correcte	Sous-estimée	Sur-estimée
Rendement (T/ha)	Par espèce	Jour	-30%	144%	0.64	Valeurs absolues			
Stock semencier (semences /m ²)	Somme	Jour	26%	~0	0.31	Classement			
	Par espèce	Jour	10%	71%	0.52	Classement			
Biomasse adventice (g/m ²)	Somme	Moyenne	27%	~0	0.56	Classement			
	Par espèce	pluri-annuelle	422%	~0	0.50	Classement			
	Somme	Jour	41%	216%	0.15	Classement	0.21	0.67	0.12
	Par espèce		3%	263%	0.35	Classement	0.82	0.11	0.07
Plantes adventices /m ²	Somme	Moyenne	108%	147%	-0.05	Valeurs relatives			
	Par espèce	pluri-annuelle	17%	116%	0.67	Classement			
	Somme	Jour	25%	165%	0.09	Valeurs relatives	0.36	0.48	0.16
	Par espèce		7%	143%	0.29	Classement	0.89	0.07	0.03

[§] en relatif par rapport à la gamme de variation des observations (max-min)/2. Couleurs: du vert (0%) au rouge (|50%|), gris (observations trop variables pour conclure). [§] Corrigé pour la variation des observations et des simulations, en relatif par rapport à la déviation standard des observations. Couleurs: rouge (mauvais, > 120%), jaune (satisfaisant, 60-90%), vert clair (bon, 30-60%), vert (très bon, < 30%) et gris (observations trop variables pour conclure). ^{*} Maximum de l'efficacité de modélisation et des coefficients de corrélation de Pearson et Spearman. Couleurs: du rouge (0) à vert (1). ^x Proportion d'observations incluses dans l'intervalle de confiance simulé. Couleurs: du rouge (0) à vert (1) pour la première colonne, du vert (0) au rouge (1) pour les deux autres colonnes.

Perspectives

FLORSys peut être utilisé dans de nombreuses situations pour classer les systèmes de culture en fonction de leur flore adventice et de leur rendement. Nous améliorons actuellement FLORSys en y introduisant la compétition pour l'azote, l'effet de la latitude sur les dates de floraison et la prédation des semences.

Financements

INRA, le projet européen AMIGA (FP7-KBBE-2011-5-CP-CSA), le projet CoSAC (ANR-14-CE18-0007) et le programme de recherche *Évaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides* financé par les Ministères en charge de l'Écologie et de l'Agriculture

Références

- Colbach, N., Bertrand, M., Busset, H., Colas, F., Dugué, F., Farcy, P., Fried, G., Granger, S., Meunier, D., Munier-Jolain, N.M., Noilhan, C., Strbik, F., Gardarin, A., 2016. Uncertainty analysis and evaluation of a complex, multi-specific weed dynamics model with diverse and incomplete data sets. *Environmental Modelling & Software* 86, 184-203.
- Colbach, N., Busset, H., Yamada, O., Dürr, C., Caneill, J., 2006. ALOMYSYS: modelling black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate. II. Evaluation. *Eur. J. Agron.* 24, 113-128.
- Munier-Jolain, N.M., Guyot, S.H.M., Colbach, N., 2013. A 3D model for light interception in heterogeneous crop:weed canopies. Model structure and evaluation. *Ecol. Modelling* 250, 101-110.

Modélisation des effets des systèmes de culture sur la dynamique de l'orobanche rameuse (*Phelipanche ramosa* (L.) en interaction avec les adventices

Olivia Pointurier, Stéphanie Gibot-Leclerc, Delphine Moreau, Nathalie Colbach

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : Nathalie.Colbach@inra.fr

Résumé

L'orobanche rameuse, *Phelipanche ramosa* (L.) Pomel, est une plante parasite qui cause d'importantes pertes de rendements dans les cultures, particulièrement en colza en France. Afin de concevoir des stratégies de gestion efficaces du parasite, nous avons modélisé les effets des systèmes de culture sur la dynamique de l'orobanche rameuse en interaction avec les cultures et les adventices dans le modèle PheraSys. PheraSys simule le cycle de vie complet de l'orobanche rameuse, de la dynamique du stock semencier dans le sol à la fructification après développement du parasite sur son hôte.

Mots-clés : *Phelipanche ramosa* (L.) Pomel, parasite, modélisation, système de culture, gestion des adventices

Introduction

Avec la réduction de l'usage des produits phytosanitaires, il est probable que la flore adventice et ses bioagresseurs associés deviennent plus abondants dans les parcelles agricoles. Parmi ces bioagresseurs, l'orobanche rameuse (*Phelipanche ramosa* (L.) Pomel) est une plante parasite des adventices et des cultures qui cause jusqu'à 90% de pertes de rendement en colza en France. La gestion du parasite est complexe car elle repose sur une combinaison de pratiques préventives et doit intégrer la gestion des adventices potentiellement parasitées. Afin d'appréhender cette complexité, nous avons modélisé la dynamique de l'orobanche rameuse dans les systèmes de culture dans le modèle PHERASYS.

Matériel et méthodes

La dynamique du parasite a été modélisée comme une succession d'étapes de son cycle de vie à partir de données de la littérature et de nos propres expérimentations (Fig. 1). PHERASYS a été connecté à FLORSYS (modèle de dynamique des adventices non parasites dans les systèmes de culture) pour prédire les interactions entre le parasite et les plantes cultivées et adventices en fonction du climat.

Figure 1 : Processus du cycle de vie de l'orobanche rameuse modélisés dans PHERASYS et connexion avec FLORSYS (en italiques).

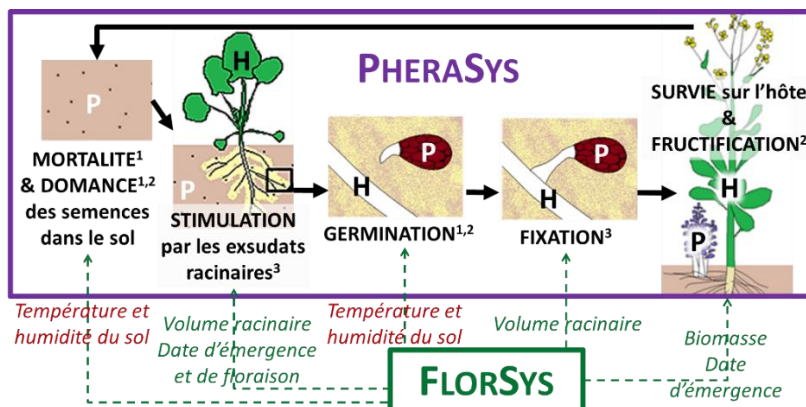
H : hôte, P : parasite.

Données utilisées :

¹expérimentation en cours,

²publications de l'équipe et

³autre littérature.



Résultats

Caractériser les différentes étapes du cycle de vie de l'orobanche rameuse a permis de mettre en évidence des leviers de gestion du parasite (Tab. 1). Par exemple, l'une de nos expérimentations a montré que les

semences parasites enfouies dans le sol suivent un cycle de dormance saisonnier (Fig. 2) qui peut être exploité pour réduire l'infestation par le parasite en décalant la date de semis de la culture (Tab. 1).

Conclusion

PHERASYS est le premier modèle de simulation du cycle de vie complet de l'orobanche rameuse. Il apporte ainsi des connaissances nouvelles, notamment sur la dormance des semences parasites et sur les relations trophiques hôte-parasite. Il met en évidence des leviers de gestion prometteurs (ex : date de semis), et permettra, lorsqu'il sera programmé, de comprendre comment les associer en simulant différentes combinaisons de pratiques. Les résultats montrés ici sont préliminaires et restent à confirmer par validation du modèle.

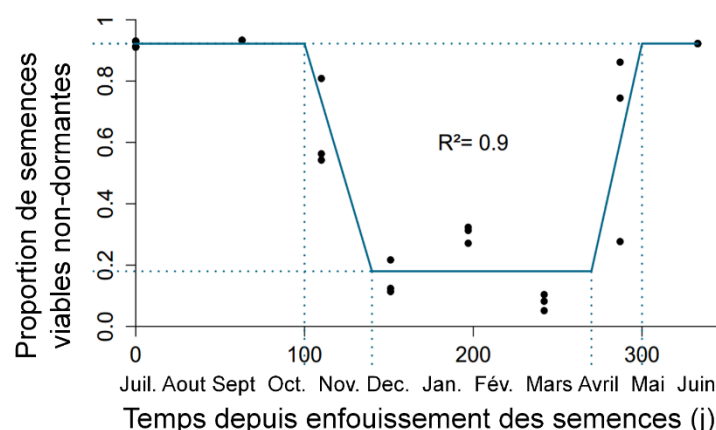


Figure 2 : **Dormance saisonnière des semences d'orobanche rameuse en fonction du temps**

Tableau 1 : **Effet des pratiques agricoles sur la dynamique de l'orobanche rameuse dans PHERASYS.**

Technique		Effet	Processus modélisés
Travail du sol		Incorpore les semences dans le sol, ce qui augmente la probabilité qu'elles soient à proximité de racines stimulatrices et hôtes , et donc qu'elles germent et se fixent	Mouvement des semences dans le sol = $f(\text{travail du sol, structure du sol})$ Germination et fixation = $f(\text{volume des racines stimulatrices et hôtes})$
Diversification de la rotation		- En limitant le nombre de cultures stimulatrices et hôtes qui favorisent l'infestation, en particulier celles à forte biomasse - En introduisant des cultures pièges (= hôtes détruits avant que le parasite ne se reproduise)	Germination et fixation = $f(\text{sensibilité des espèces stimulatrices et hôtes})$ Fructification = $f(\text{biomasse hôte})$ Mort du parasite dès que l'hôte meurt
Semis tardif		- Décale la croissance de la culture vers la période de dormance des semences parasites, ce qui limite leurs germinations en culture - Retarde l'émergence du parasite qui a alors moins de temps pour causer des dégâts et se reproduire sur la culture	Germination = $f(\text{dormance}^*)$ Stimulation de la germination = de la levée à la floraison des cultures stimulatrices
Gestion des adventices		Même effet que la diversification de la rotation en favorisant ou non certaines espèces d'adventices	Flore adventice non-parasite = $f(\text{système de culture})$
Densité de semis élevée		Augmente la probabilité de rencontre entre les semences parasites et les racines des cultures stimulatrices et/ou hôtes, et donc de germination et de fixation des semences parasites	Germination et fixation = $f(\text{volume des racines stimulatrices et hôtes})$
Fertilisation		Effet indirect en augmentant la biomasse des cultures stimulatrices et hôtes, ce qui augmente le nombre de germinations, de fixations et de parasites produisant des semences	Biomasse de la culture = $f(\text{fertilisation})$ Germination et fixation = $f(\text{volume des racines stimulatrices et hôtes})$ Fructification = $f(\text{biomasse hôte})$

Références

- Pointurier, O. (2015). Modélisation des effets des systèmes de culture sur la dynamique de la plante parasite orobanche rameuse en interaction avec la flore adventice. Mémoire de fin d'études. Montpellier SupAgro, Agrocampus Ouest, AgroParisTech, 64 p.
- Moreau, D., Gibot-Leclerc, S., Girardin, A., Pointurier, O., Reibel, C., Strbik, F., Fernandez-Aparicio, M. & Colbach, N. (2016). Trophic relationships between the parasitic plant species *Phelipanche ramosa* (L.) and different hosts depending on host phenological stage and host growth rate. *Frontiers in Plant Science* 7.

Méta-modélisation de l'interception de la lumière dans un couvert cultures: adventices

F. Colas ¹, J.-P. Gauchi ², J. Villerd ³, N. Colbach ¹

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

² INRA, UMR MaIAGE, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas, France

³ LAE, INRA, Univ. Lorraine, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

Correspondance : floriane.colas@inra.fr

Résumé

Dans le modèle parcelle virtuelle de dynamique de la flore adventice, FLORSYS, 70% du temps de calcul est utilisé par le module 3D d'interception de la lumière dont dépend la compétition des cultures et des adventices pour la lumière et la croissance des plantes. Afin d'accélérer le calcul, nous avons utilisé une méthode pour méta-modéliser le module. Cette méthode permet aussi réaliser une analyse de sensibilité. La hauteur et la largeur des plantes ont été identifiées comme des variables primordiales pour prédire l'interception de la lumière par le couvert.

Mots-clés : interception de la lumière, méta-modélisation, analyse de sensibilité, couvert cultures: adventices

Introduction

Les adventices sont les bioagresseurs les plus nuisibles pour la production agricole, mais elles sont importantes pour la biodiversité. Dans le but de concevoir des systèmes de culture conciliant production et biodiversité, nous avons besoin d'outils pour tester de nombreux systèmes de culture tel que FLORSYS (Colbach et al., 2014), un modèle mécaniste, pluriannuel et plurispécifique ("parcelle virtuelle"). Dans ce modèle, le couvert culture : adventice est représenté en 3D (Munier-Jolain et al., 2013) pour prédire la compétition entre cultures et adventices pour la lumière et la croissance des plantes qui en dépend. Ce module d'interception de la lumière est coûteux en temps de calcul, limitant ainsi le nombre de simulations possibles. Le couvert est découpé en voxel (pixels 3D), et chaque plante est constituée de nombreux voxels. Les rayonnements photosynthétiquement actifs interceptés (PARi) ou absorbés (PARa) sont calculés pour chaque voxels, puis sommés par plante. Notre objectif est d'accélérer le module en développant un méta-modèle prédisant l'interception et l'absorption de la lumière directement à l'échelle de la plante, à partir des variables environnementales et des plantes de voisinage.

Matériels et Méthodes

L'interception de la lumière par une plante cible dépend : (1) des paramètres et variables de la plante (*e.g.* hauteur, coefficient d'extinction); (2) de l'environnement physique (latitude, jour), (3) de la précision du modèle (voxel, taille de la parcelle), et (4) de l'environnement biologique (densité, positions et paramètres des plantes voisines). Nous avons utilisé une nouvelle méthode d'analyse de sensibilité globale, basée sur des polynômes (de Legendre) du chaos tronqués (PCE) dont les coefficients ont été estimés par régression PLS (Gauchi et al., 2016), pour : (1) classer les entrées en fonction de leurs effets polynomiaux et totaux sur les sorties, via les indices PCE-PLS, et (2) fournir un méta-modèle prédisant le PARi et le PARa à l'échelle de la plante en fonction des quatre types d'entrées. Les simulations nécessaires à la construction du méta-modèle ont été basées sur un plan d'expérience suivant une suite de Sobol quasi-aléatoire. Pour intégrer l'effet des plantes voisines, les entrées décrivant ces plantes (*e.g.* les hauteurs ou largeurs des plantes comprises dans le voisinage proche de la plante cible)) ont été agrégées en des variables synthétiques (*e.g.* hauteur moyenne des plantes voisines) pour le méta-modèle.

Résultats et Discussion

En cas de plantes isolées, leurs caractéristiques sont plus importantes que l'environnement physique ou que la précision du modèle pour déterminer le PARa (Fig. 1). Les variables déterminant le volume occupé par la plante cible (hauteur, largeur) sont dominantes. Le méta-modèle pour le PARa consiste en un polynôme de Legendre de 363 monômes et de degré 3; aux fortes qualités prédictives (Fig. 2), avec un indice Q2cum de 0.95 (un critère spécifique à PLS jugeant la qualité de prédiction devant être proche de 1). Les résultats pour les plantes cibles entourées de plantes voisines sont similaires.

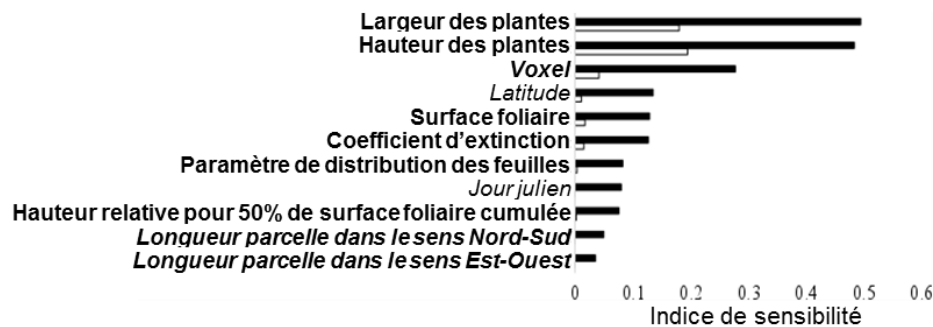


Figure 1 : Indices de sensibilité (*sensu* PCE-PLS), en blanc les effets polynomiaux (*i.e.* sans interactions), en noir les effets des entrées (**paramètres des plantes**, environnement physique and **précision du modèle**).

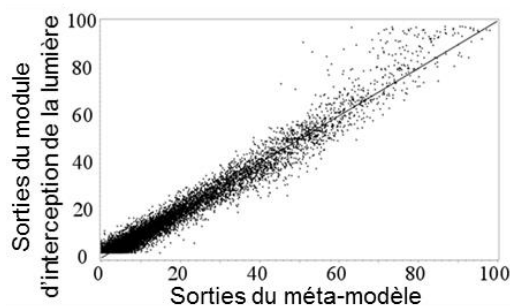


Figure 2 : Graphique nuage de points des prédictions du méta-modèle en fonction des sorties du module d'interception de la lumière.

Conclusions

L'analyse de sensibilité nous a permis de discriminer les variables de plantes à estimer précisément (*e.g.* hauteur de plante) de celles pouvant être estimées moins précisément (*e.g.* surface foliaire et paramètres de distribution des feuilles). Les plantes occupant un volume important (grandes hauteur et largeur) sont celles qui vont le plus intercepter la lumière et donc pousser. Ce sont des caractéristiques à privilégier chez les plantes cultivées. Le méta-modèle permettra de simuler de nombreux systèmes de culture pour optimiser les pratiques des agriculteurs.

Financements

INRA (départements : EA et MalAGE), le projet CoSAC (ANR -14 -CE18CE18CE18 -0007) et la région Bourgogne.

Références

- Colbach N., N., Biju-Duval, L., Gardarin, A., Granger, S., Guyot, S. H. M., Mézière, D., Munier-Jolain, N. M., Petit, S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research* 54, 541-555.
- Gauchi, J.-P., Bensadoun, A., Colas, F., Colbach, N., 2016. Metamodelling and global sensitivity analysis for computer models with correlated inputs: a practical approach tested with a 3D light-interception computer model. Submitted to *Environmental Modelling and Software*.
- Munier-Jolain, N. M., Guyot, S. H. M., Colbach, N., 2013. A 3D model for light interception in heterogeneous crop:weed canopies. *Model structure and evaluation. Ecological Modelling* 250, 101-110.

Mieux prédire les conditions hydriques dans les premiers centimètres du sol pour déterminer la germination des adventices

W. Queyrel ¹, R. Dairon ¹, M. Ubertosi ¹

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France

Correspondance : wilfried.queyrel@agrosupdijon.fr

Résumé

La germination des adventices est sensible aux conditions hydriques des premiers centimètres du sol. Il apparaît donc nécessaire de simuler avec précision ces variables avec le modèle FLORSYS. Nous proposons une méthode de calage du module « eau du sol » de FLORSYS basé sur le formalisme de STICS à partir d'une chaîne de modélisation par forçages successifs : (1) simulation du développement de la biomasse aérienne et racinaire de la culture dans STICS; (2) intégration de ces variables dans le modèle HYDRUS pour simuler la dynamique des conditions hydriques de surface (3) ; calage des paramètres hydriques de STICS à partir des résultats d'HYDRUS. Cette méthodologie sera appliquée pour la comparaison de différents scénarios agropédoclimatiques contrastés en condition de labour et de non labour.

Mots-clés : germination, eau, labour, non labour, simulation

Introduction

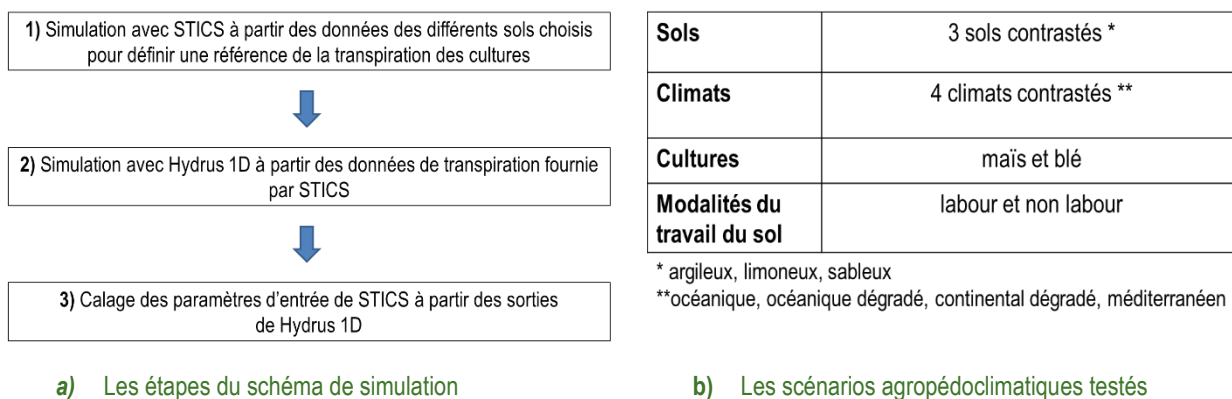
L'état hydrique du sol en surface est l'une des composantes déterminantes pour la germination des adventices (Calado *et al.* 2009). Le labour ou le non labour peut entraîner des modifications des propriétés physiques du sol et impacter les conditions d'évaporation dans les premiers centimètres (Schwartz *et al.* 2010). Il apparaît donc nécessaire d'intégrer ces effets, afin de simuler avec plus de précisions la teneur en eau à la surface sol avec le modèle de dynamique de la flore adventice FLORSYS (Gardarin *et al.* 2010). Le formalisme utilisé dans le modèle FLORSYS pour simuler l'évaporation est basé sur le modèle STICS. Nous proposons dans cette étude d'améliorer la paramétrisation de FLORSYS à partir d'une chaîne de modélisation en intégrant les effets du labour et non labour.

Matériels et méthodes

L'approche choisie dans cette étude est basée sur une chaîne de modélisation constituée du modèle agronomique STICS (Brisson, *et al.* 2009) associé au modèle mécaniste de transfert d'eau, de chaleur et de solutés dans le sol. HYDRUS-1D (Simunek *et al.* 2012).

Le plan d'expérimentation numérique

Les différentes étapes du schéma de simulation sont présentées dans la figure 1a. Elles consistent i) à un forçage du modèle hydruS à partir de simulations réalisées avec STICS ; ii) à la constitution d'un jeu de données de références pour la teneur en eau du sol dans les premiers centimètres à partir des simulations d'hydruS-1D iii) au calage des principaux paramètres de STICS qui régissent l'évaporation du sol à partir des données de références issues des résultats d'HYDRUS-1D.

Figure 3: **Démarche et scénarios choisis pour les simulations**

Les scénarios des simulations de l'étude ont été construits pour intégrer des situations pédoclimatiques contrastées. Un ensemble de 3 sols à dominante argileuse, limoneuse et sableuse a été choisi. Les paramètres hydromécaniques de ces sols ont été déterminés à partir de mesures en laboratoire combinées à la fonction de pédotransfert utilisée dans le modèle HYDRUS 1D (Simunek et al. 2012). De plus, le choix des cultures a été réalisé en intégrant une culture d'hiver et de printemps fréquemment rencontrée dans un contexte de grandes cultures : le blé tendre et le maïs. Les itinéraires techniques ont été par la suite constitués en cohérence avec les climats choisis pour les scénarios en intégrant des données issues d'expérimentations en plein champ et les recommandations des instituts techniques.

Les paramètres retenus pour le calage de STICS

La répartition de l'évaporation dans le profil de sol en fonction de la profondeur est définie dans le modèle STICS en fonction de l'équation présentée dans la figure 2. Ainsi, 3 paramètres importants, CFES, ZESX et Q0 (valeur seuil qui limite l'évaporation maximale du sol en fonction de la demande climatique et de la texture du sol) ont été retenus pour le calage du modèle.

$$\frac{ES_i}{ES} \propto \left(1 - \frac{Z_i}{ZESX}\right)^{CFES} K_i \quad \text{avec} \quad Z_i \leq ZESX$$

ES_i : contribution de la couche élémentaire à l'évaporation journalière (mm.jour⁻¹.cm⁻¹) ; **ES** : évaporation du sol journalière (mm.jour⁻¹.cm⁻¹) ; **Z_i** : profondeur de la couche élémentaire *i* (cm), **ZESX** : profondeur maximale d'évaporation (cm), **CFES** : coefficient de contribution de la couche élémentaire à l'évaporation du sol (SD), **K_i** : conductance évaporative (SD)

Figure 4: **équations de répartition de l'évaporation en fonction de la profondeur du sol**

Les résultats de cette étude permettront par la suite d'améliorer de manière significative les performances de FLORSYS pour la simuler de la dynamique de la teneur en eau dans les premiers centimètres de sol.

Références bibliographiques

- Brisson, N, Launay M, Mary B, Beaudoin N (Eds) (2009) 'Conceptual basis, formalisations and parametrization of the STICS crop model.'
- Calado JMG, Basch G, de Carvalho M (2009) Weed emergence as influenced by soil moisture and air temperature. Journal of Pest Science 82, 81–88. doi:10.1007/s10340-008-0225-x.
- Gardarin A, Guillemin J-P, Munier-Jolain NM, Colbach N (2010) Estimation of key parameters for weed population dynamics models: Base temperature and base water potential for germination. European Journal of Agronomy 32, 162–168. doi:10.1016/j.eja.2009.09.006.
- Schwartz RC, Baumhardt RL, Evett SR (2010) Tillage effects on soil water redistribution and bare soil evaporation throughout a season. Soil and Tillage Research 110, 221–229. doi:10.1016/j.still.2010.07.015.
- Simunek J, Van Genuchten MT, Sejna M (2012) HYDRUS: MODEL USE, CALIBRATION, AND VALIDATION. Transactions of the ASABE 55, 1261–1274.

Impact de la flore adventice sur la rétention des pesticides : développement d'un nouvel indicateur pour l'évaluation des systèmes de culture

W. Queyrel ¹, N. Colbach ²

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : wilfried.queyrel@agrosupdijon.fr

Résumé

Les adventices sont souvent considérées comme nuisibles, mais peuvent également être source de biodiversité. Des indicateurs ont déjà été développés à partir du modèle FLORSYS (Colbach et al., 2014) pour évaluer les systèmes de culture en terme de nuisibilité ou de bénéfice associés à la flore adventice. Nous proposons dans cette étude un nouvel indicateur pour évaluer le potentiel de rétention des pesticides par les adventices et son impact sur le transfert vers l'environnement. Il se décline en deux aspect i) efficience de l'application des herbicides (interception des herbicides par la plante), ii) rétention des autres pesticides (insecticides et fongicides). Différents systèmes de cultures ont été simulés avec le modèle FLORSYS. Des résultats préliminaires ont été analysés à l'aide de la méthode des arbres de régression pour étudier l'impact des techniques ou combinaison de techniques culturales sur l'indicateur et évaluer les systèmes de cultures qui permettent de maximiser le potentiel de rétention des pesticides.

Mots-clés : évaluation, système de culture, pesticide, lixiviation, modélisation

Introduction

Les adventices peuvent impacter les rendements des cultures, mais sont également source de biodiversité (Oerke, 2006). Dans un contexte de réduction des usages en produits phytopharmaceutiques, agriculteurs et agronomes doivent concilier le maintien de la production tout en limitant le recours aux intrants de synthèse. L'évaluation de ces systèmes de culture (SDC) et leur conception (Malézieux, 2012) sont des étapes indispensables pour atteindre cet objectif. Dans le cadre de cette étude, nous avons développé des indicateurs permettant d'évaluer le potentiel de rétention des pesticides par la flore adventice qui est décliné en deux aspects : i) efficience de l'application des herbicides et ii) piégeage des autres pesticides (fongicides et insecticides). L'impact des techniques culturales et de leur combinaison sur ces indicateurs a également été étudié à partir d'un panel de SDC contrastés.

Matériels et méthodes

L'approche choisie dans cette étude est basée sur le modèle mécaniste FLORSYS (Colbach et al., 2014) qui simule la dynamique de la flore adventices à partir des traits d'espèce, du climat de la texture du sol et de l'itinéraire technique. Une série d'indicateur a été développée en lien avec le modèle (Mézière et al., 2015a), afin d'évaluer les systèmes de culture en termes de gestion de la flore adventice (Mézière et al., 2015b).

Les systèmes de culture évalués

Les systèmes de culture choisis pour l'évaluation sont issus de l'essai système en protection intégrée des cultures sur le domaine expérimental de l'INRA de Dijon-Epoisses dans l'Est de la France (47°20'N, 5°2'E) (Chikowo et al. 2009). Les modalités de gestion de la flore adventice sont organisées selon un gradient d'usage des herbicides, allant d'un système de référence de type « agriculture raisonnée » pratiquée dans la plaine dijonnaise au système zéro herbicide.

L'analyse des stratégies techniques

Afin d'analyser les techniques et combinaisons de techniques culturales associées à une valeur d'indicateur, nous avons utilisé une approche statistique non paramétrique : la méthode CART (Breiman et al., 1984). Cette méthode basée sur des arbres de régression ou de classification permet ainsi de diviser en deux groupes un nombre d'individus de manière récursive en minimisant la variabilité au sein du sous-groupe et en maximisant la variabilité entre les deux sous-groupes formés. Cette méthode a déjà été utilisée pour d'autres indicateurs de l'impact de la flore adventice par Mézière et al. (2015a).

Résultats

Les différentes combinaisons de techniques qui maximisent ou minimisent l'interception foliaire et l'absorption racinaire des pesticides sont présentées dans le tableau 1. L'interception des herbicides par le feuillage des adventices est meilleure dans les systèmes avec labour régulier, mais peu de travail du sol superficiel. L'interception des fongicides et insecticides par les racinaires adventices est maximale dans des systèmes avec peu ou pas de travail du sol et des rotations comprenant beaucoup de cultures de printemps ou des cultures d'hiver semées très tardivement.

Tableau 1 : Synthèse des combinaisons de techniques culturales permettant de minimiser ou maximiser l'interception des pesticides par la flore adventice identifiées sur l'essai "système" de l'INRA de Dijon-Epoisses

Type de pesticide	Type d'interception	Nombre de stratégies	Stratégies pour obtenir l'interception	
			Minimale (-)	Maximale (+)
Herbicides	Par le feuillage	3	≥ 3.6 travaux du sol superficiels par an	< 3.6 travaux du sol superficiels par an et fréquence de labour ≥ 1 an sur 2
	Par les racines	4	Récolte avant 5 août et ≥ 111 jours entre la récolte et le premier roulage (ou pas de roulage)	Récolte après 5 août et semis après 19 décembre
Insecticides + fongicides	Par le feuillage	2	Durée de couverture des cultures (y compris temporaires et cipan) < 9 mois	Durée de couverture des cultures (y compris temporaires et cipan) ≥ 9 mois
	Par les racines	4	≥ 1.9 travaux du sol entre mars et octobre et fréquence de labour < 1 an sur 2	< 1.9 travaux du sol entre mars et octobre et semis après 22 novembre

Les résultats présentés dans cette étude sont préliminaires et nécessitent d'être d'avantage étayés. Des simulations complémentaires vont être réalisées sur un plus grand nombre de SDC et leur analyse permettra d'identifier les systèmes de culture permettant de maximiser le rôle bénéfique de la flore adventice en termes de piégeage des pesticides, tout en limitant la nuisibilité associée à cette flore.

Références bibliographiques

- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J., 1984. Classification and Regression Trees. Chapman and Hall. Wadsworth, Inc., New York, USA.
- Chikowo R., Faloya V., Petit S., Munier-Jolain NM., 2009- Integrated Weed Management systems allow reduced reliance on herbicides and long-term weed control. Agriculture, Ecosystems & Environment 132, 237–242.
- Colbach N., Biju-Duval L., Gardarin A., Granger S., Guyot SHM., Mézière D., Munier-Jolain NM., Petit S., 2014- The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. Weed Research 54, 541–555.
- Oerke E.-C., 2006- Crop losses to pests. The Journal of Agricultural Science 144, 31.
- Malézieux E., 2012- Designing cropping systems from nature. Agronomy for Sustainable Development 32, 15–29.
- Mézière D., Petit S., Granger S., Biju-Duval L., Colbach N., 2015a- Developing a set of simulation-based indicators to assess harmfulness and contribution to biodiversity of weed communities in cropping systems. Ecological Indicators 48, 157–170.
- Mézière D., Petit S., Granger S., Biju-Duval L., Colbach N., 2015b- Developing a set of simulation-based indicators to assess harmfulness and contribution to biodiversity of weed communities in cropping systems. Ecological Indicators 48, 157–170.

ÉVALUER LA PERFORMANCE DES PRATIQUES CULTURALES AU CHAMP

PRÉSENTATIONS ORALES

Étude de l'effet du travail du sol et des couverts sur les adventices dans des contextes de production varies

P. Métais ¹, F. Vuillemin ², S. Cordeau ³

¹ Arvalis Institut du végétal, Biopôle Clermont Limagne 63360 St Beauzire

² Terres Inovia, avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon

³ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : p.metais@arvalisinstitutduvegetal.fr

Résumé

L'objectif de cette synthèse de résultats d'essais est d'analyser la diversité de réponses des adventices aux couverts associés ou d'interculture couplés à différents niveaux de travail du sol (allant du non travail du sol au labour). Des essais analytiques permettent de quantifier d'une part l'effet des couverts et d'autre part celui du travail du sol. Certains de ces essais analytiques et des essais systèmes sont utilisés pour appréhender l'interaction entre les facteurs travail du sol et présence de couverts. Cette présentation développera en particulier l'effet des couverts dans différents systèmes de production : couverts associés au colza, couverts d'interculture dans les systèmes céréaliers français et dans les systèmes légumiers américains.

Mots-clés : couverts associés, cultures intermédiaires, travail du sol, expérimentation factorielle, expérimentation système

Introduction

Cette étude est consacrée à l'analyse et la quantification des effets de la diversification des couverts couplée à différents niveaux de travail du sol, sur la flore adventice. L'objectif est de mettre en évidence les avantages et inconvénients de ces techniques et préciser les conditions permettant d'en faire des leviers mobilisables pour la gestion des adventices. Pour ce faire, il est nécessaire d'utiliser différents types d'essais, court terme et long terme, permettant d'évaluer :

- L'effet des couverts seul : trois essais pluriannuels, un essai système (5 systèmes conduit avec ou sans couverts) et un réseau d'essais annuels.
- L'effet du travail du sol seul : deux essais de longue durée et un réseau d'essais annuels.
- L'interaction entre travail du sol et couverts, renseignée par cinq essais annuels et un essai de longue durée
- L'effet du semis direct sous couvert à l'échelle du système de culture est également étudié, au travers de deux essais systèmes.

Dans cette présentation, nous nous focaliserons sur l'étude de l'effet des couverts dans différents systèmes de production : couverts associés au colza, couverts d'interculture dans les systèmes céréaliers français et dans les systèmes légumiers américains.

Effet des couverts associés au colza

Les essais au champ testant du colza associé à des plantes de couvert montrent que les couverts associés accentuent la concurrence du colza vis-à-vis des adventices dès l'automne. Cet effet dépend de la biomasse produite à la fois par le colza et le couvert associé (Figure 1). Dans ces essais, l'effet est marqué à partir de 1.5 kg/m² de biomasse fraîche totale en entrée hiver.

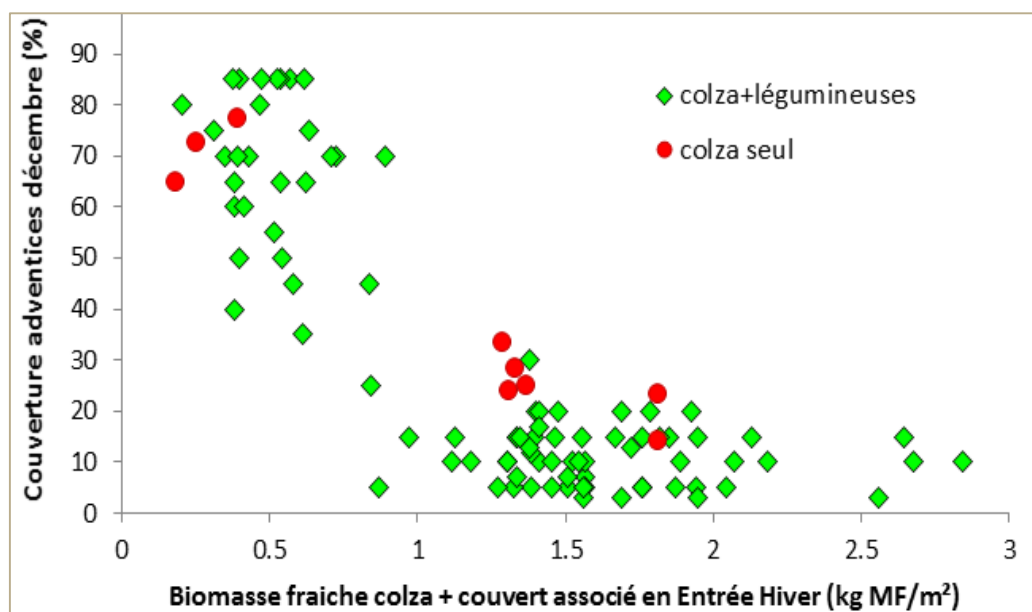


Figure 1 : Taux de couverture du sol par les adventices en décembre, en l'absence de traitement herbicide anti-dicotylédones, en fonction de la biomasse fraîche du colza et du couvert associé en entrée hiver (Terres Inovia)

Effet des cultures intermédiaires dans les systèmes céréaliers français

A l'interculture, la présence d'une culture intermédiaire permet de limiter les repousses de cultures, quelle que soit l'espèce implantée. Par contre, l'effet sur les adventices est plus variable : il diffère suivant les années, les essais et le type de travail du sol. Dans tous les cas, les différences observées à l'interculture ne sont plus visibles dans les cultures suivantes (Figure 2). Malgré une plus faible capacité d'intervention à l'interculture pour éviter les grenaisons, aucun effet significatif de la présence de culture intermédiaire n'a pu être observé sur l'enherbement des cultures dans nos essais. Par contre, l'effet du travail du sol est plus prononcé.

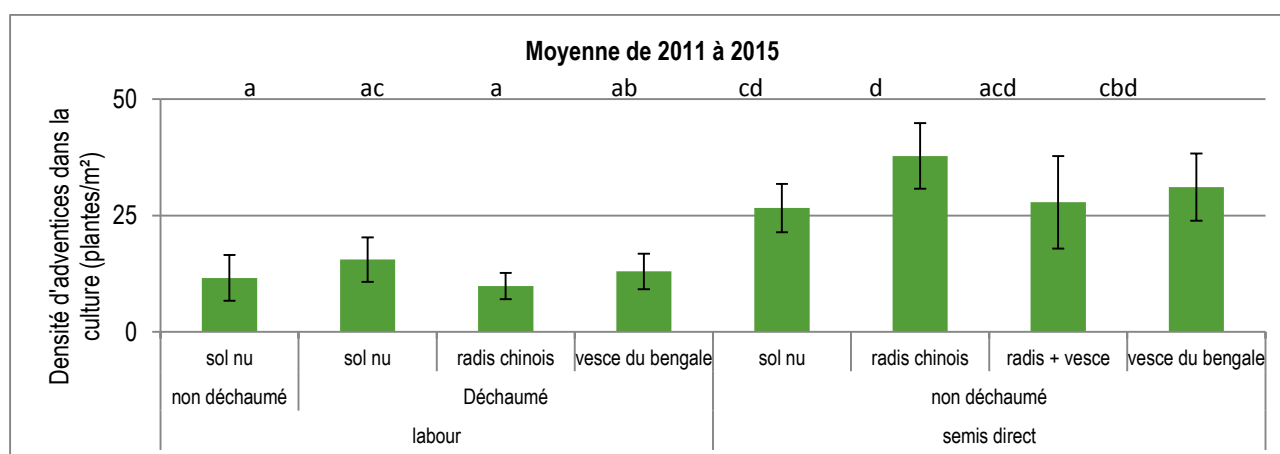


Figure 2 : Effet de la présence d'un couvert et du mode de conduite de l'interculture sur l'enherbement des cultures. Moyenne 2011 à 2015 sur l'essai de longue durée « Environnement » à Boigneville (Arvalis)

Effet des cultures intermédiaires dans les systèmes légumiers américains

Un essai long terme en agriculture biologique a été mis en place en 2004 à la station expérimentale de l'Université de Cornell (Freeville, NY, USA). Quatre systèmes de culture (1-intensif, 2-intermédiaire, 3-bio-extensif, 4-travail du sol réduit) ont été conduits depuis 2004 sur une rotation courge d'hiver, choux, laitue, pomme de terre. En 2014, le stock semencier a été évalué avant l'implantation d'un couvert d'avoine sur la totalité de la surface puis un couvert de sorgho (*sorghum sudangrass*) et millet (japanese millet). Dans chacun de ces couverts, les densités et biomasses adventices ont été évaluées. Les systèmes de culture ont eu un effet sur la flore adventice identifiable à l'aide du stock de semences. Le système bio-extensif montre la densité et la biomasse la plus faible. L'effet des systèmes de culture est visible dans le couvert d'avoine mais s'estompe dans le couvert de sorgho-millet. Le système en travail du sol réduit n'est pas efficace et le travail montre l'importance des faux semis d'interculture sur la gestion des adventices en agriculture biologique.

Conclusion

L'analyse de ces essais, dans le cadre du projet ANR COSAC, montre que les couverts, associés ou à l'interculture peuvent contribuer à la gestion des adventices. Par contre, ils ne permettent de gérer que la flore qui lève pendant la durée de présence du couvert et pas celle qui germe le reste de l'année, d'où un effet limité dans les cultures suivantes. L'effet du travail du sol est généralement plus prononcé.

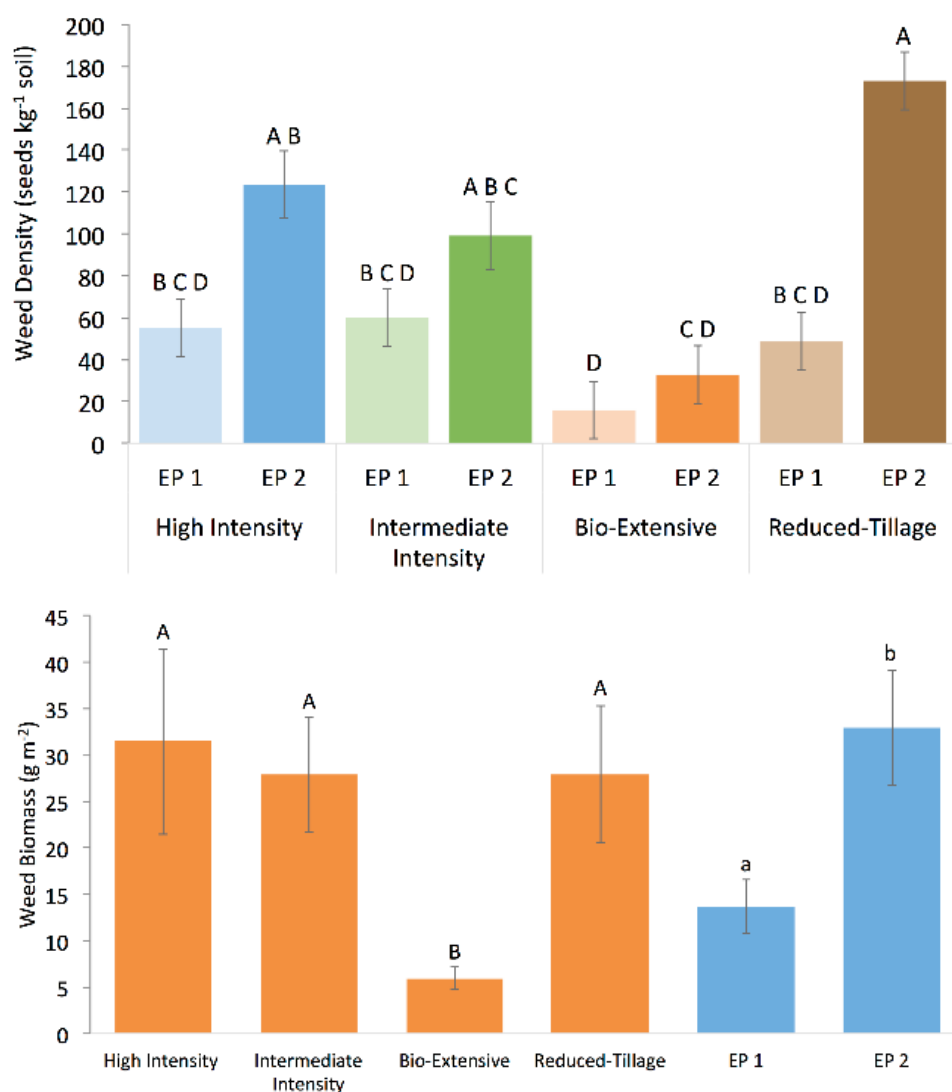


Figure 3 : Densité de semences adventices (graphique de gauche) après 10 ans de systèmes de culture différenciés (2004-2014), et biomasse d'adventice (graphique de droite) dans le couvert d'avoine implanté en 2014. EP1 et EP2 correspondent à différents précédents. Essai de Freeville, Université de Cornell, (NY, USA)

Analyse des mécanismes impliqués dans la détection automatisée des adventices

C. Gée

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : christelle.gee@agrosupdijon.fr

Résumé

L'objectif est de développer des systèmes de proxidtection embarqués sur différentes plateformes aérienne (drone) ou terrestre (robot) dédiés, entre autre, à l'identification et la localisation d'adventices pour établir des cartes de présence d'adventices afin de mettre en œuvre le désherbage chimique localisé. L'étude présente les premiers résultats obtenus par le drone d'AIRINOV dont la problématique est d'étudier le potentiel de l'imagerie aérienne pour la détection d'adventices. Deux approches ont été étudiées.

Mots-clés : imagerie, drones, robots, adventices, carte d'infestation

Matériels et Méthodes

L'acquisition d'images aériennes (hauteur de vol à 50m) repose sur un dispositif multi-spectral développé par AIRINOV (le multiSPEC 4C : Vert, Rouge, REd-Edge et Proche Infra-Rouge) équipé de capteurs de position tels qu'une centrale inertielle et un GPS, permettant de géo-référencer les données acquises. L'acquisition a été réalisée sur des parcelles de betterave, maïs et soja à deux résolutions spatiales des images différentes : 6 cm et 6 mm. Pour cette dernière très haute résolution, le capteur a été embarqué au bout d'une perche à 3 m de hauteur. Deux approches ont été étudiées. La première repose sur l'évaluation de l'impact des paramètres de la chaîne d'acquisition sur le potentiel de détection des adventices en ayant recours à 1) la modélisation de la chaîne d'acquisition, 2) le choix des filtres optiques, 3) la résolution spatiale des images. La deuxième approche aborde une méthode de classification supervisée originale pour la localisation des adventices par imagerie.

Résultats

Les résultats du traitement des images sont comparés en fonction de l'information spatiale, spectrale et une combinaison des deux. La figure 1 présente les résultats reposant sur l'algorithme spatial à deux résolutions spatiales d'images dans le cas d'une parcelle de maïs. Ils montrent la nécessité d'une très bonne résolution (6 mm) spatiale d'images pour développer un service de gestions des adventices par imagerie aérienne. En combinant l'information spatiale à une information spectrale et en confrontant les résultats issus de l'algorithme à une vérité terrain, la qualité de la discrimination est alors étudiée au travers une matrice de confusion. L'apport de la combinaison des méthodes spatiale et spectrale sur la qualité de la discrimination culture/adventices (tableau 1) montre que le taux de bonne détection de culture (μ TVC) baisse légèrement. En revanche, le taux de bonne détection d'adventices (μ TVA) est grandement amélioré. Aussi, à partir de ces cartes de végétation, une phase pilote a été conduite afin de réaliser une carte d'infestation pour une pulvérisation localisée (rattrapage sur maïs et betterave). L'objectif est de coupler cette information à un système de pulvérisation comme l'I-Weed Robot ou un pulvérisateur équipé d'une gestion automatisée de la coupe de tronçons. Actuellement un tel service avec des images à 6mm/px de résolution semble peut viable d'un point de vue économique.

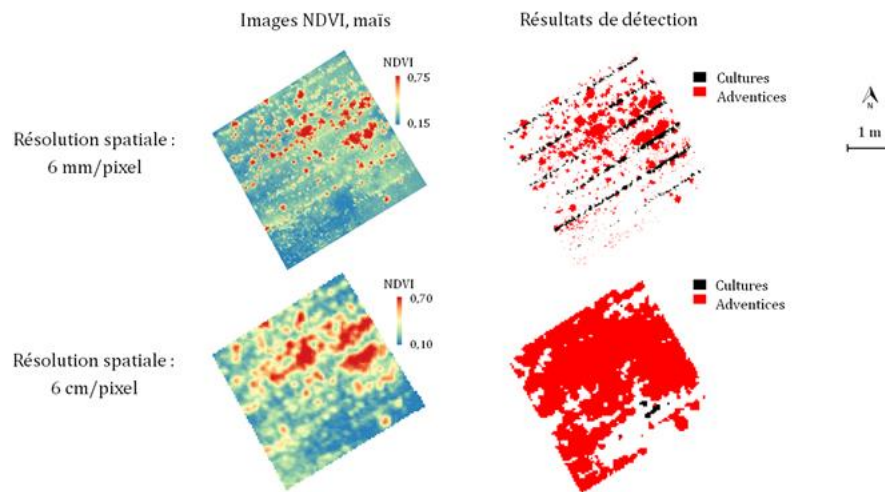


Figure 1 : Résultats de la classification culture/adventices en utilisant l'information spatiale uniquement pour 2 résolutions spatiales (6mm et 6cm) d'image (5mx5m).

Méthodes pour images à 6mm/px	μ_{TVC}	μ_{TVA}
Spatiale	0,96	0,83
Combinaison spatiale et spectrale	0,78	0,93

Tableau 1 : Comparaison des résultats de l'algorithme spatial et de la combinaison des deux informations (spatiale et spectrale) sur des images en culture de maïs.

Conclusions

Cette étude a pour but d'envisager de proposer aux agriculteurs un service de gestion des adventices par imagerie aérienne. Les résultats montrent la nécessité de travailler avec des images de haute résolution spatiale (6mm/px) pour être en mesure de détecter les adventices de taille supérieure à 2cm². Les algorithmes, qui combinent à la fois l'information spatiale et spectrale, de discrimination entre la culture et les adventices présentent les meilleurs résultats de bonne détection des plantes (Culture vs. Adventices) avec plus de 93% de bonne détection des pixels « Adventices ».

APPLICATION À LA GESTION DURABLE

PRÉSENTATIONS ORALES

Comment les conseillers et les agriculteurs raisonnent la gestion des adventices?

F. Colas ¹, S. Cordeau ¹, M.-H. Jeuffroy ², S. Granger ¹, J. Villerd ³, N. Colbach ¹

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

² UMR Agronomie, INRA, AgroParisTech, Université Paris Saclay, 78 850 Thiverval-Grignon, France

³ LAE, INRA, Univ. Lorraine, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

Correspondance : floriane.colas@inra.fr

Résumé

Nous avons enquêté des conseillers et agriculteurs pour analyser comment ils raisonnent la gestion des adventices, dans le but de développer un outil d'aide à la décision pour la gestion intégrée de la flore adventice. Pour cela, nous avons mis en ligne une enquête et nous l'avons diffusée auprès de conseillers et d'agriculteurs situés dans toute la France. En tout, vingt-et-un conseillers et quatre agriculteurs ont répondu entièrement à l'enquête, sur 54 réponses au total. Ce sont principalement des problèmes liés au désherbage chimique qui ressortent dans les contraintes de gestion des adventices, mais le manque de connaissance sur la biologie des espèces est également apparu comme un point majeur. Les futurs utilisateurs imaginent des utilisations différentes pour le futur outil (tester des méta-règles de décision ou des pratiques culturales détaillées), selon l'ampleur des adaptations des pratiques qu'ils envisagent pour faire face aux problèmes qu'ils rencontrent.

Mots-clés : enquêtes, usages, adventices, outil d'aide à la décision

Introduction

Les adventices sont des bioagresseurs fréquents des cultures mais sont importantes pour la biodiversité. Afin d'aider les agriculteurs à modifier leurs systèmes de culture, en combinant de nombreuses pratiques culturales, nous allons développer un outil d'aide à la décision (OAD) à partir du modèle « parcelle virtuelle » de dynamique de la flore adventice FLORSys (Colbach et al., 2014). Cet outil permettra de simuler les effets de combinaisons de pratiques sur la flore adventice, la production agricole et la biodiversité, pour guider la stratégie de gestion des adventices. Pour que l'outil soit utile et utilisé, il est recommandé d'impliquer les futurs utilisateurs, conseillers agricoles et agriculteurs, dès les premières étapes de développement (Cerf et al., 2012). L'objectif de cette étude est d'identifier les contraintes liées à la gestion des adventices, perçues par les futurs utilisateurs, pour pouvoir y répondre dans un OAD.

Matériels et Méthodes

Une enquête en ligne a été mise à disposition de conseillers dans toute la France, pour identifier : (1) l'interviewé ; (2) les raisons pour lesquelles la gestion des adventices est difficile et ce que pourrait apporter un OAD ; (3) les contraintes d'utilisation du modèle, c'est-à-dire la disponibilité des informations nécessaires à son utilisation dans une situation donnée ; (4) la fonctionnalité et lisibilité des entrées et sorties du futur outil. Nous avons obtenu 40 réponses dont 21 complètes. Le lien de l'enquête a été publié sur des forums fréquentés par les agriculteurs (i.e. Agri convivial, Agricoool). Nous avons obtenu 14 réponses supplémentaires dont 4 complètes. Enfin, nous avons recueilli les réactions d'agriculteurs aux réponses des conseillers lors d'un atelier dans l'Oise, où FLORSys été utilisé par des conseillers.

Résultats et Discussion

Les conseillers considèrent que la difficulté de gestion des adventices est surtout due aux contraintes liées au désherbage chimique, comme les résistances des adventices aux herbicides, la diminution de l'offre de matières actives ou des stades d'adventices limitant la fenêtre d'intervention pour traiter (Figure 1). La nécessité de réfléchir la gestion sur plusieurs années, en raison de la persistance du stock semencier, est aussi problématique. La difficulté de se projeter à moyen ou long terme est considérée par les agriculteurs comme un problème qui va au-delà des adventices : « ...difficile de se projeter au-delà de 3 ans avec les réglementations changeantes... ». Le manque ou la difficulté d'accès à des informations sur la biologie des adventices (levées de dormance peu prévisibles, adaptation des adventices aux pratiques...) est un problème majeur pour les conseillers. Ils imaginent tester des méta-règles de décision avec l'OAD (Figure 2) pour aider à changer radicalement un système (diversification de la rotation...). Lorsque les conseillers veulent comprendre l'effet des pratiques culturales et les modifier avant d'être dans une impasse, ils imaginent tester des listes d'opérations détaillées (quel itinéraire technique ? quel désherbage mécanique ?). Les agriculteurs confrontés aux réponses des conseillers ont proposé plus de changements dans leurs systèmes que les conseillers et pour un agriculteur dans les enquêtes : « ...Un OAD de gestion d'adventices m'aidera à prendre la décision de ne pas faire un traitement. ».

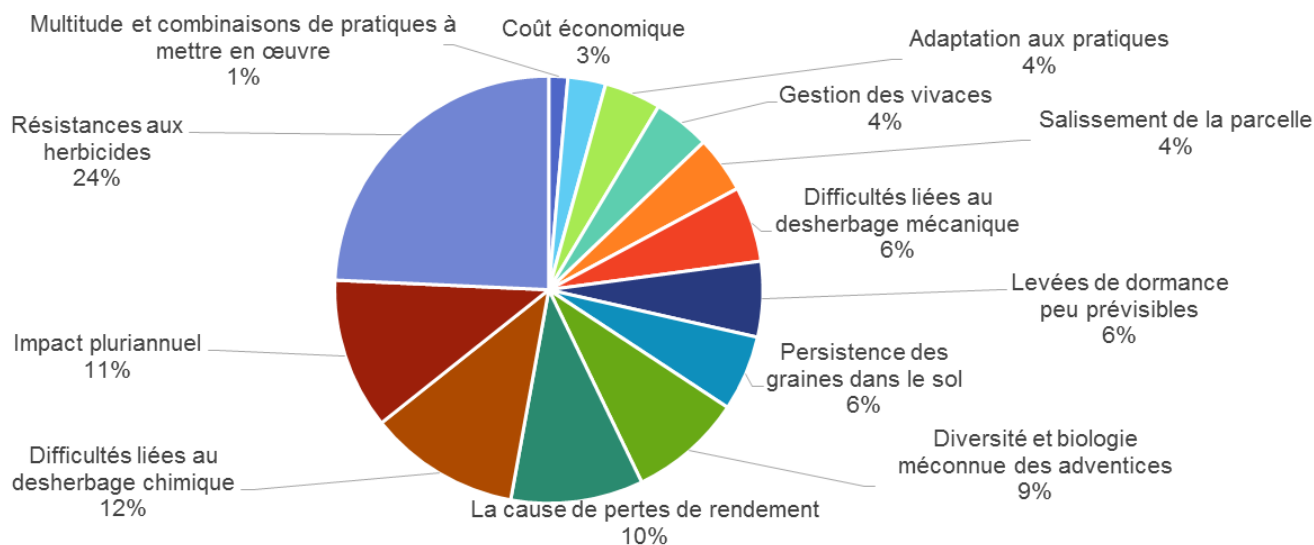


Figure1 : Problèmes liés aux adventices jugés comme contraignants par les conseillers

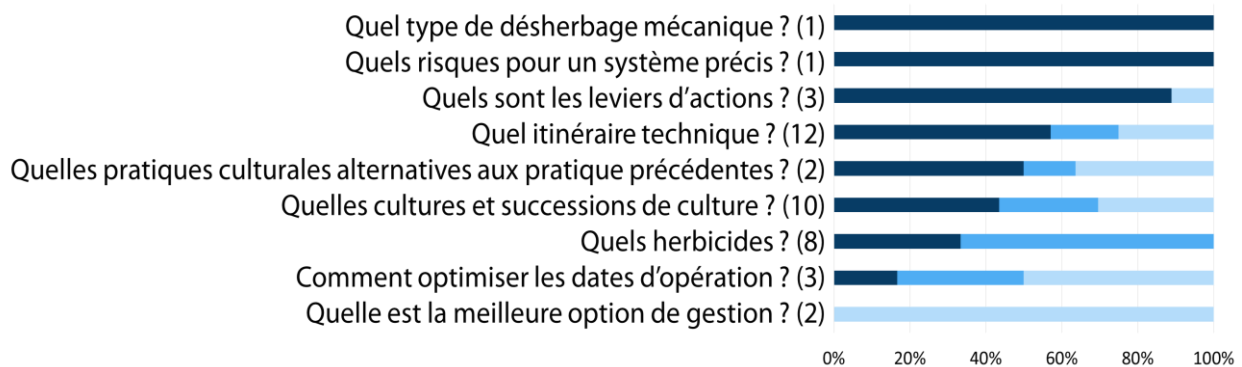


Figure 2 : Pourcentage de réponses sur le niveau de détail que les conseillers sont prêts à renseigner dans l'OAD en fonction des décisions qu'ils souhaitent prendre. Bleu foncé : liste détaillée des opérations, bleu clair : métarègles de décision (ex. labourer 1 un an sur 2), bleu intermédiaire : les deux, entre parenthèses : nombre de conseillers ayant répondu la modalité.

Conclusions

Les adventices sont responsables de différents problèmes dans les parcelles, qui entraînent différents besoins pour de l'aide à la décision. Deux cas de figure se distinguent : reconception du système en réfléchissant à l'aide de méta-règles de décision ou ajustement des pratiques culturales en testant des listes d'opération précises. Le futur outil d'aide à la décision devra donc avoir deux composantes répondant à ces différents besoins.

Financements

INRA (départements : EA et MIA), le projet CoSAC (ANR -14 -CE18CE18CE18 -0007) et la région Bourgogne.

Références

- Colbach, N., Biju-Duval, L., Gardarin, A., Granger, S., Guyot, S. H. M., Mézière, D., Munier-Jolain, N. M., Petit, S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research* 54, 541-555.
- Cerf M., Jeuffroy M. H., Prost L., Meynard J. M., 2012. Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. *Agronomy for Sustainable Development*, 32, 899-910.

Les adventices réduisent le rendement et la réduction d'usage d'herbicides aggrave cette perte si elle n'est pas compensée par des mesures préventives et curatives alternatives

Nathalie Colbach

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : Nathalie.Colbach@inra.fr

Résumé

Cette étude analyse les relations entre usage d'herbicides, infestation d'adventices et pertes de rendement en parcelles d'agriculteurs, via la simulation. Nous avons simulé 255 systèmes de culture d'agriculteurs de 7 régions avec une flore adventice régionale, puis sans adventices, et enfin sans herbicides. Les résultats montrent que (1) la perte de production augmente avec la biomasse adventice, (2) il n'y a pas de relation entre IFT herbicide d'une part, biomasse adventice et perte de rendement d'autre part parce que les agriculteurs prennent des mesures compensatoires lorsqu'ils réduisent l'usage d'herbicides, (3) la perte de rendement et la nuisibilité liée aux adventices augmentent lorsqu'on supprime les herbicides dans les systèmes sans aucune autre modification, (4) les effets sont plus marqués à l'échelle pluriannuelle qu'à l'échelle annuelle.

Mots-clés : perte de rendement, IFT (indice de fréquence de traitement) herbicide, adventice, simulation, nuisibilité

Introduction

Les systèmes de culture des agriculteurs sont basés sur une combinaison de pratiques culturales raisonnées en fonction de leurs objectifs. Ces pratiques sont souvent corrélées, avec des fortes interactions entre leurs effets. Par conséquent, il est souvent difficile de quantifier les effets des adventices sur la production agricole, ou des herbicides sur les adventices et la production. L'objectif de notre étude était d'étudier ces relations à l'aide de simulations pour décorréler les effets.

Matériel et méthodes

Les simulations ont été réalisées avec le modèle "parcelle virtuelle" FLORSys qui simule la compétition pour la lumière entre plantes, la dynamique de la flore adventice et son impact sur la production agricole et la biodiversité en fonction des systèmes de culture et du pédoclimat (Colbach et al., 2014). Nous avons simulé 255 systèmes de culture de 7 régions, provenant d'enquêtes en exploitation agricole, des chambres d'agriculture, de dires d'experts, et du réseau Biovigilance-Flore. Chaque système a été simulé sur 25 ans, en partant d'une flore adventice régionale et répété 10 fois avec des séries climatiques de sa région d'origine. Ensuite, tous les systèmes ont été simulés sans adventices pour estimer la perte de rendement due aux adventices, puis sans herbicides pour estimer la perte de rendement due à la suppression des herbicides.

Résultats

Les résultats montrent que la perte de rendement augmente avec la biomasse adventice, au niveau annuel (Fig.1.A) et pluriannuel (Fig.1. B) mais est peu liée à la densité adventice (Fig.1.C). Il y a une relation négligeable entre le niveau d'usage herbicide et la production agricole (Fig. 2.A) et il n'y a pas de relation entre IFT herbicide d'une part, biomasse adventice et perte de rendement d'autre part (Fig. 2. B et C) parce que les agriculteurs prennent des mesures compensatoires lorsqu'ils réduisent l'usage d'herbicides. Lorsqu'on supprime les herbicides dans les systèmes sans aucune autre modification, la perte de rendement et la nuisibilité liée aux adventices augmentent ; l'effet est plus visible au niveau pluriannuel (Fig. 3.B) qu'annuel (Fig.3.A). La perte de rendement additionnelle résultant de la suppression des herbicides

augmente avec le niveau d'usage herbicide initial dans les systèmes de culture, jusqu'à un IFT d'environ 2 (Fig. 3. C). Au-delà, le nombre de points est insuffisant pour conclure. Les résultats sont similaires pour les autres indicateurs de la nuisibilité des adventices pour la production agricole (contamination des récoltes, bourrage de la moissonneuse-batteuse, risque de plante parasite etc.).

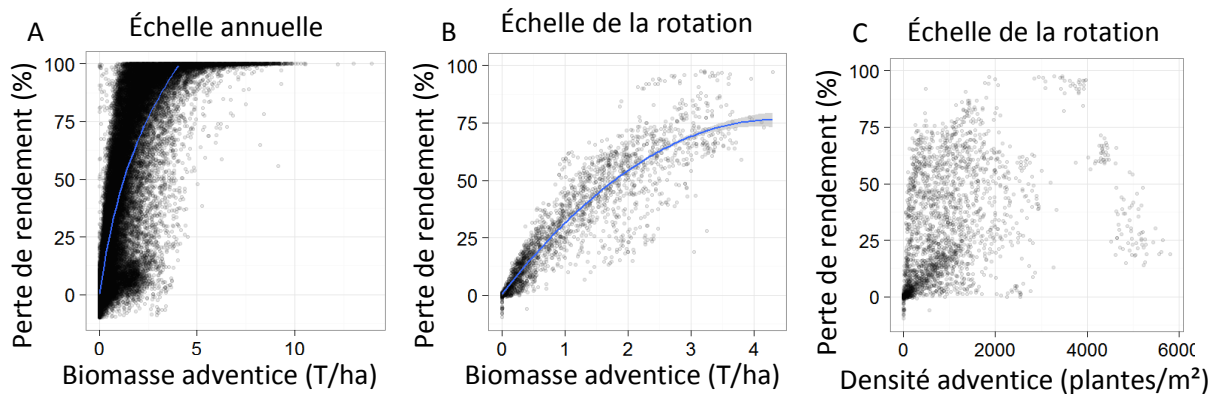


Figure 1 : Perte de rendement des cultures en fonction de la biomasse adventice moyenne en culture (A. Par an, $R^2 = 0.68$, $p < 0.001$; B. Moyenne sur la rotation, $R^2 = 0.85$, $p < 0.0001$) et de la densité de plantes adventices moyenne en culture (C. Moyenne sur la rotation, $R^2 = 0.15$, $p < 0.0001$).

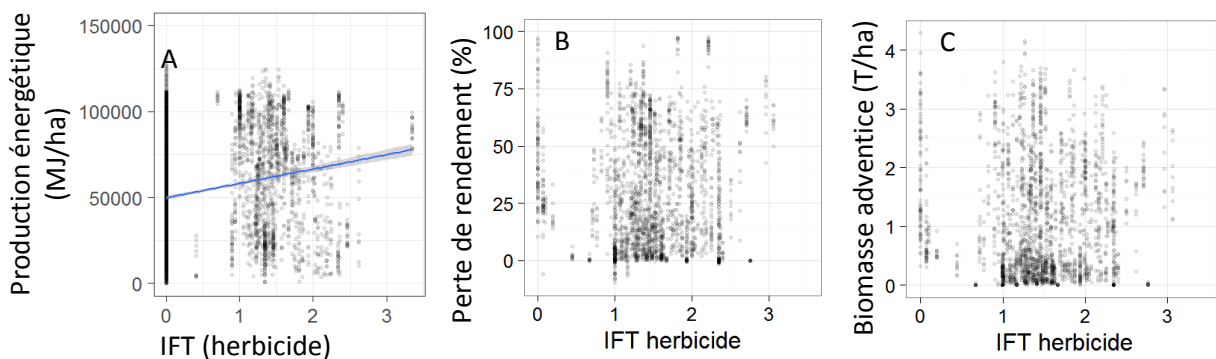


Figure 2 : Effet du niveau d'usage herbicide sur la production agricole (A. $R^2=0.02$, $p < 0.00001$), la perte de rendement des cultures (B. $p=0.23$) et la biomasse adventice moyenne en culture (C. $p=0.36$) au niveau de la rotation.

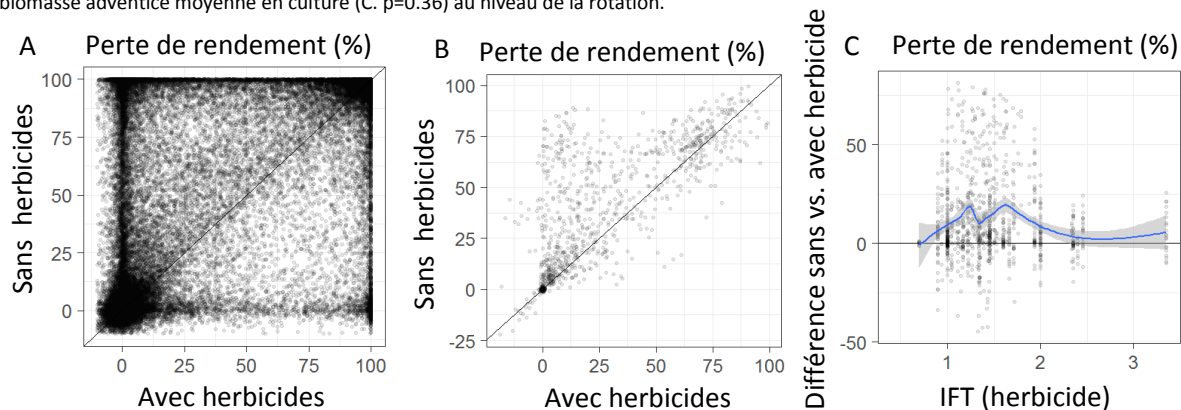


Figure 3 : Effet de la suppression des herbicides sans autre modification des systèmes de culture. Comparaison de la perte de rendement sans et avec herbicides à l'échelle annuelle (A) et moyennée sur la rotation (B), et différence de la perte de rendement moyennée sur la rotation en fonction du niveau d'usage herbicide initial (C, avec ligne de lissage en bleu).

Perspectives

Nous allons maintenant analyser les effets de la flore adventice (en fonction des espèces et des traits qui la composent) sur les relations entre herbicides, adventices et production agricole.

Références

Colbach N., Biju-Duval L., Gardarin A., Granger S., Guyot S.H.M., Mézière D., Munier-Jolain N.M., Petit S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research*, 54, 541–555

Proposition d'une méthodologie de conception multi-objective de systèmes de culture à partir de simulations. Application à la gestion des adventices

N. Colbach ¹, F. Colas ¹, O. Pointurier ¹, W. Queyrel ¹, J. Villerd ²

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

² LAE, INRA, Université de Lorraine, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

Correspondance : Nathalie.Colbach@inra.fr

Résumé

Nous avons développé une méthode pour concevoir des systèmes de culture conciliant plusieurs objectifs en termes d'impact de la flore adventice (ex. réduction de la perte de rendement, réduction du salissement du champ, promotion de l'offre trophique pour abeilles): (1) des arbres de décision prédisant les probabilités d'atteindre les objectifs escomptés à partir de combinaisons de pratiques culturales sont établis à partir de simulations avec le modèle FLORSYS, (2) le système de culture à améliorer est évalué à l'aide de l'arbre, et des changements permettant d'améliorer les performances sont identifiés, (3) les systèmes de culture alternatifs incluant ces changements sont testés avec FLORSYS.

Mots-clés : conception multicritère, système de culture, indicateur, adventice, agroécologie

Introduction

Concevoir des stratégies durables de gestion des adventices est difficile parce que les adventices sont à la fois nuisibles pour la production agricole et bénéfiques pour la biodiversité. De plus, leur présence et leur comportement dépendent fortement des nombreuses pratiques culturales ; comme leurs semences survivent pendant plusieurs années dans le sol, les opérations de l'année influencent aussi la flore des années à venir. L'objectif de notre étude est d'utiliser le modèle "parcelle virtuelle" FLORSYS (Colbach et al., 2014) pour évaluer et concevoir des stratégies de gestion permettant de concilier contrôle de la nuisibilité des adventices, promotion de la biodiversité et réduction d'usage herbicide.

Matériel et méthodes

FLORSYS simule la dynamique de la flore adventice et son impact sur la production agricole et la biodiversité en fonction des systèmes de culture et du pédoclimat. Notre méthode de conception consiste à: (1) simuler des systèmes de culture divers (255 systèmes provenant de 7 régions) sur 27 ans et avec 10 répétitions climatiques, et puis agréger les indicateurs d'impact individuels des adventices en une note de performance multicritère globale (Tableau 1), (2) établir un arbre de régression expliquant la performance multicritère en fonction de combinaisons de techniques culturales (Figure 1), (3) évaluer le système de culture existant à améliorer avec l'arbre de régression et identifier les améliorations potentielles, (4) tester les systèmes alternatifs avec FLORSYS (Tableau 2).

Résultats

Sur la base de l'arbre de décision (Fig. 1), cinq améliorations du système existant sont proposées. Le test avec FLORSYS (Tableau 2) montre que le risque d'échec (note E) diminue dans tous les systèmes alternatifs (sauf I 3), et surtout pour I1' et O. Le système A1 a plus de chance d'être plus performant (note C) que le système I 1', mais son risque d'échec est aussi plus élevé et donc moins acceptable pour les agriculteurs. Aucun système testé n'atteint des notes A ou B, et aucun ne concilie donc les 3 objectifs. Si on tente de réduire uniquement la nuisibilité des adventices et l'usage des herbicides, les alternatives proposées sont plus nombreuses et leur performance est meilleure (Colbach et al., soumis).

Conclusion

La méthode permet d'améliorer des systèmes de culture existants pas à pas. Par rapport à la conception à dire d'experts, elle permet de proposer non seulement des grands classiques (ex. labourer) mais aussi des modifications peu connues (ex. broyage) ou basées sur des interactions (ex. broyage et rouleau avant semis), et de quantifier les options (ex. labourer 2 ans sur 5) et leurs probabilités de réussite et d'échec. Cependant, les systèmes de culture ayant servi à la construction de l'arbre de décision ne sont pas encore assez divers et innovants pour obtenir un arbre permettant de concilier des objectifs antagonistes.

Tableau 1 : Seuils de performance pour noter l'impact des adventices ii. Note multicritère globale individuel (i) et global (ii). Les seuils sont choisis pour discriminer les meilleures performances, en donnant plus de poids à la nuisibilité (particulièrement la perte de rendement) qu'à la biodiversité

i. Note d'impact individuel

Note	Relativement au maximum observé ou possible	
	Nuisibilité et usage d'herbicides	Biodiversité
A (meilleure)	< 5%	> 75%
B	5-10%	70-75%
C	10-20%	60-70%
D	20-30%	50-60%
E (pire)	> 30%	< 50%

Note globale	Notes individuelles	
	Perte de rendement	Autres
A (meilleure)	A	A
A-	A	≥ B
B	B	B
B-	B	≥ C
C	C	C
C-	C	≥ D
D	D	D
E (pire)	E	E

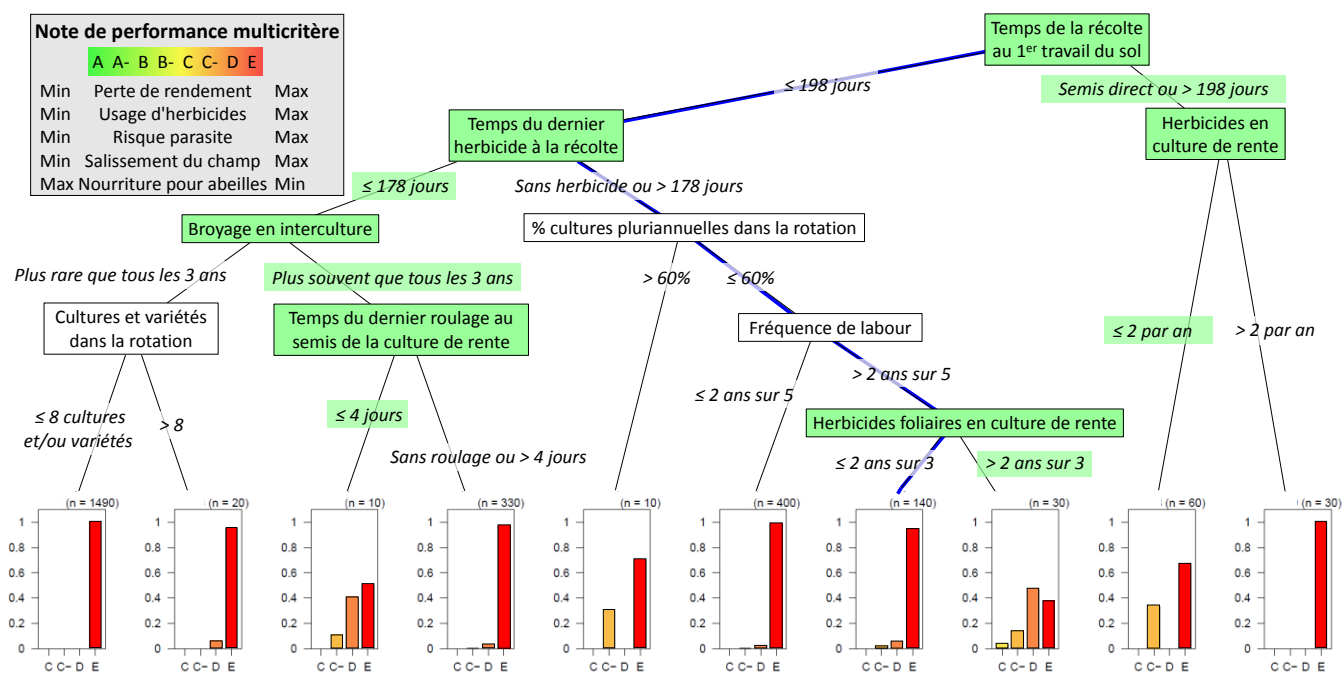


Figure 1 : Arbre de décision prédisant l'impact multi-critère des adventices sur la production agricole et la biodiversité en fonction de combinaisons de pratiques culturales. Les histogrammes montrent les probabilités des niveaux de performance. La ligne bleue correspond aux pratiques et à la performance du système de culture à améliorer, les cases en vert indiquent les changements potentiellement intéressants

Tableau 2 : Performance multicritère simulée avec FLORISYS pour un système de culture bourguignon existant en colza/blé/orge et travail du sol superficiel (R) et des systèmes innovants (I et O) visant à concilier contrôle de la nuisibilité des adventices, promotion de la biodiversité et réduction d'usage herbicide

	Changement identifié sur l'arbre (Figure 1)	Modifications			Note multicritère									
					A	A-	B	B-	C	C-	D	E		
R		Système à améliorer			0	0	0	0	0	0	0.3	0.7		
I1	Herbicides foliaires au moins 2 ans sur 3	Remplacé 1 herbicide	pseudo-racinaire pseudo-racinaire/racinaire	en orge par un foliaire	0	0	0	0	0	0	0.2	0.7		
I1'					0	0	0	0	0	0.3	0.4	0.3		
I2	Broyage au moins 1 an sur 3	Broyage avant céréales												
	Rouleau avant semis	Rouleau au semis			0	0	0	0	0	0.0	0.2	0.8		
I3	Semis direct ou 1 ^{er} travail après 198 jours	Ajouté tournesol (+blé) pour retarder le travail du sol			0	0	0	0	0	0.1	0	0.9		
O	Combiner les meilleures options	I1' et I2			0	0	0	0	0	0.1	0.2	0.3		

Financements

INRA, le projet CoSAC (ANR-14-CE18-0007) et le programme de recherche *Évaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides* financé par les Ministères en charge de l'Écologie et de l'Agriculture

Références

- Colbach N., Biju-Duval L., Gardarin A., Granger S., Guyot S.H.M., Mézière D., Munier-Jolain N.M., Petit S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research*, 54, 541–555
- Colbach N., Colas F., Pointurier O., Queyrel W., Villerd J., soumis. Proposing a methodology for multi-objective cropping system design based on simulations. Application to weed management. *European Journal of Agronomy*.

Freins et leviers à la réduction de l'usage d'herbicides en grande culture

C. Pasquier ¹, F. Angevin ²

¹ SADAPT, INRA, 78850 Thiverval-Grignon, France

² Eco-Innov, INRA, 78850 Thiverval-Grignon, France

Correspondance : catherine.pasquier@inra.fr

Résumé

Le travail d'enquêtes qui a été réalisé dans le cadre du projet CoSAC visait à recueillir des informations issues du terrain afin de pouvoir proposer des outils qui répondraient au mieux aux attentes des agriculteurs, à leur capacité à appréhender le changement et à leur situation. L'enjeu de ce projet étant de concilier des réductions d'usage d'herbicides, la préservation de la biodiversité ainsi que le maintien de la production agricole et du revenu des agriculteurs, il paraît nécessaire de mieux appréhender les pratiques actuelles des agriculteurs et d'essayer de saisir les freins et les leviers pouvant conditionner l'introduction d'innovations qui permettraient de répondre aux enjeux de ce projet.

Mots-clés : herbicides, ray-grass, freins, leviers, conseil

Contexte de l'étude

Le travail d'enquêtes qui a été réalisé dans le cadre de la tâche 3.1 du projet CoSAC avait pour objectif d'identifier les freins et les leviers à l'adoption par les agriculteurs d'innovations dans la gestion des adventices. Ces données recueillies sur le terrain ont pour but de faciliter l'offre d'innovations et l'adaptation d'outils d'aide à la décision conçus par les chercheurs pour répondre aux problématiques rencontrées par les agriculteurs et leurs prescripteurs en matière de maîtrise des adventices.

Notre étude se situe dans une zone où les difficultés de désherbage et la présence de résistances aux herbicides sont depuis longtemps avérées. Il s'agit du plateau du Neubourg dans le département de l'Eure. Ce plateau de terres limoneuses de grande qualité a un potentiel de rendement élevé. Les productions sont orientées vers les grandes cultures et cultures industrielles (blé, colza, lin, betteraves sucrières, pommes de terre).

Résultats

La première étape de l'enquête a été de connaître le diagnostic des agriculteurs sur leur situation en matière de salissement de leurs parcelles et les raisons qui ont conduit aux difficultés plus ou moins importantes qu'ils rencontrent. Il est intéressant de constater qu'à la question « avez-vous des problèmes de désherbage ? » une grande majorité des agriculteurs répond d'emblée par la difficulté de lutter contre le ray-grass et, parmi ceux-ci, ils sont presque autant à évoquer la présence de ray-grass résistants dans leurs parcelles. Le vulpin est la seconde espèce préoccupante localement mais dans une moindre mesure.

Ce constat étant fait, nous leur avons demandé qu'elle était, selon eux, la source de ces problèmes. La moitié des agriculteurs incriminent les moissonneuses batteuses qui seraient à l'origine de la contamination des parcelles, mais d'autres causes sont également évoquées (voir figure ci-après).

Les agriculteurs ont modifié leurs pratiques en matière de lutte contre les adventices et, notamment, pour tenter d'enrayer la propagation du ray-grass. Les préconisations agronomiques largement diffusées par les instituts techniques et reprises par les conseillers agricoles sont connues des agriculteurs (Gaborit, 2015) et plus ou moins mobilisées : retour du labour, faux-semis, recul des dates de semis, rallongement de rotations.

Il y a également un changement des habitudes en ce qui concerne l'usage des herbicides. Si celui-ci reste central dans la stratégie de lutte, les programmes désherbage d'automne avec produits racinaires remplacent pour les cultures d'automne les programmes de désherbage de printemps devenus inefficaces. Il faut ajouter à ces modifications de pratiques : une meilleure alternance des familles d'herbicides ; des successions de cultures qui permettent d'agir avec certaines matières actives identifiées pour avoir une action très efficace (Exemple sur la culture de colza le KERB™ anti-graminées) et le retour à des doses homologuées (sauf pour ceux qui font du bas volume).

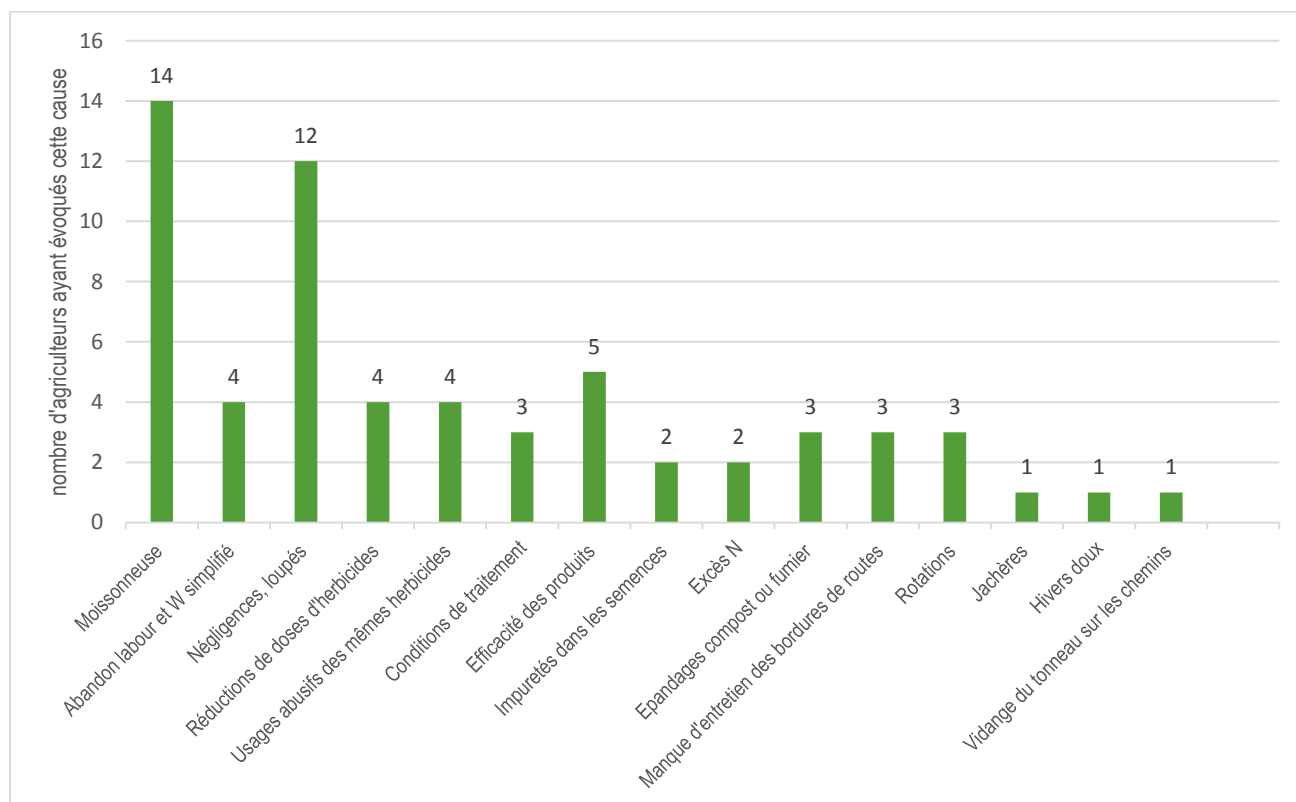


Figure 1 : Explications avancées par les 23 agriculteurs sur la situation actuelle en matière de salissement des parcelles et d'apparition de résistances aux herbicides

En analysant le discours des agriculteurs nous avons relevé un certain nombre de freins ou d'effets négatifs qui vont à l'encontre de la réduction de l'usage des herbicides :

- Le parcellaire qui complique l'organisation du travail,
- La rationalisation du travail qui peut pousser à systématiser les interventions,
- Les défauts d'équipement (désherbage mécanique),
- Le climat (peu de fenêtres d'interventions ; un climat humide qui favorise le repiquage des ray-grass),
- La réglementation contraignante qui empêche d'intervenir sur les parcelles à certaines dates,
- Les aspects économiques : La difficulté d'évaluation des risques du changement et de leurs conséquences sur le maintien du revenu de l'agriculteur,
- Le manque d'homogénéité du conseil,
- Les problèmes de qualité des semences (interculture ou semences de ferme),
- Les blocages psychologiques ou idéologiques – « on ne peut pas faire sans la chimie ».

De la même manière nous avons également repéré quelques pistes qui pourraient constituer des leviers :

- Le retour à des principes et pratiques agronomiques,
- Le respect des recommandations des instituts techniques,

- L'agriculture de précision avec l'usage de nouvelles technologies,
- Les aides à l'investissement matériel,
- L'observation des pratiques de désherbage mécanique des voisins ou collègues en bio,
- La pression sociale et familiale.

Conclusion et discussion

Au terme de ce travail d'enquêtes, il apparaît que le désherbage repose toujours largement sur l'usage intensif de la chimie qui reste la solution facile à mettre en œuvre, rapide et encore assez efficace pour rassurer les agriculteurs. Ils continuent à attendre la commercialisation de nouvelles matières actives pour répondre à leurs besoins. Les préconisations agronomiques restent quant à elles largement sous-appliquées même s'il y a eu des changements dans les pratiques.

L'offre de conseil, nous avons pu le constater, révèle des incohérences et n'est pas homogène en termes de solutions techniques. Qu'en est-il de l'offre de formation tant au niveau de la formation initiale dans les cursus agricoles que de la formation permanente ? Notre étude ne permet pas de répondre à cette interrogation. L'apprentissage, le conseil, la formation permanente peuvent être de puissants leviers pour introduire des changements d'habitudes et de pratiques (Omon et al., 2010 ; Chantre, 2011 ; Compagnonne et al., 2015). Nous l'avons constaté au cours de ces enquêtes, les agriculteurs nous l'ont exprimé : le recours à l'usage de la chimie fait partie de leurs habitudes, ils ne savent pas faire sans et sont démunis à l'idée de devoir s'en passer.

Les conséquences économiques liées à une réduction de l'usage des herbicides sont difficiles à appréhender et constitue un frein important. Conscients des enjeux environnementaux les agriculteurs peinent à trouver des réponses techniques qui les rassurent et soient durables. De nouvelles technologies (agriculture de précision) encore à l'étude semblent prometteuses et sont envisagées comme des recours possibles par une partie des acteurs du développement. La question qui demeure, en dehors de l'efficacité de ses futurs outils, est leur accès par le plus grand nombre.

Références bibliographiques

- Cerf M., Omon B., Chantre E., Guillot M., 2010. Vers des systèmes économes en intrants : quelles trajectoires et quel accompagnement pour les producteurs de grandes cultures. *Innovations Agronomiques*, INRA 2010, pp 105-119.
- Chantre E., 2011. Apprentissages des agriculteurs vers la réduction d'intrants en grandes cultures. Cas de la Champagne Berrichonne et de l'Indre dans les années 1985-2010. 2011 Thèse AgroParisTech. 398p.
- Compagnonne C., Goulet F., Labarthe P., 2015. Conseil privé en agriculture. *Educagri / Quae Editions*, 252 p.
- Gaborit A., 2015. Comprendre les écarts entre les préconisations des instituts techniques et des conseillers et les pratiques des agriculteurs pour la gestion des adventices résistantes aux herbicides en grandes cultures. Mémoire de fin d'études ESA Angers, 94p.

Guide interactif ECOHERBI : Accompagner les agriculteurs dans les changements de pratiques

A. **Rodriguez**¹, **F. Vuillemin**¹, **L. Bonin**², **J. Lieven**³, **P. Mouquot**⁴, **D. Ronget**⁵, **S. Piaud**⁶, **L. Prieur**⁷

¹ ACTA, 6 chemin côte vieille, 31450 Baziège

² Arvalis Institut du végétal, Station expérimentale, 91720 Boigneville

³ Terres Inovia, Avenue Lucien Brétignières, 78850 Thiverval-Grignon

⁴ Chambre d'Agriculture de la Gironde, 17 cours Xavier Arnoz, Bordeaux 33082 Cedex

⁵ Chambre d'Agriculture de Côte-d'Or, 11 rue Henri Becquerel 21000 Dijon

⁶ Chambre d'Agriculture de Seine-et-Marne, 418, rue Aristide Briand 77350 Le Mée Sur Seine

⁷ CREAB, route de Mirande, 32000 Auch

Correspondance : alain.rodriquez@acta.asso.fr

Résumé

Le guide ECOHERBI est un outil numérique qui a pour but d'accompagner les agriculteurs et les formateurs dans le choix de stratégies innovantes de maîtrise des adventices, en s'appuyant sur les bases agronomiques, les techniques alternatives et complémentaires au désherbage chimique et l'optimisation des traitements herbicides.

Mots-clés : flore adventice, gestion intégrée, OAD

Ce guide est l'aboutissement du projet CASDAR ECOHERBI dont l'objectif était d'évaluer des pratiques de gestion de la flore adventice permettant de réduire la quantité d'herbicides appliqués en grandes cultures. Il est disponible sur : <http://ecoherbi.florad.org>. Il est construit sur la base des résultats des actions du projet ; il est davantage centré sur la réduction des herbicides que sur la gestion d'une flore problématique particulière. Cet outil est encore un prototype et n'inclut, à ce jour, que quatre régions : Midi-Pyrénées, Ile-de-France, Bourgogne et Aquitaine.

Il a pour vocation de donner des informations et des voies d'innovation à l'agriculteur qui souhaite faire évoluer son système pour réduire les d'herbicides. Il peut être aussi utilisé comme outil de formation ou d'animation pour les techniciens, les agriculteurs, les enseignants et étudiants de la formation agricole.

Ce guide propose des schémas de mise en œuvre de techniques préventives et curatives en lien direct avec la zone de production (sol, climat) et le matériel disponible sur l'exploitation. Il met en garde l'utilisateur sur des successions culturales ou des techniques risquées selon l'avis des experts locaux et fournit des informations sur la faisabilité des techniques ou le réglage des outils. Le guide propose toujours plusieurs stratégies pour satisfaire au mieux les contraintes de chacun ; le choix final revient toujours à l'utilisateur. Son but ultime est d'accompagner les agriculteurs en fournissant des informations pratiques (fiches techniques, bibliographie) et en orientant les choix de stratégies régionalisées.

Ce guide n'est pas un index de « recettes de cuisine » ou de « solutions magiques » prêtes à l'emploi utilisable dans n'importe quel territoire. Ce n'est pas un substitut à la réflexion personnelle : les idées proposées ne doivent pas être appliquées sans être liées à son propre jugement. Il ne remplacera jamais le savoir et savoir-faire du conseiller agricole, mais il pourra formaliser sa connaissance empirique « terrain » : toutes les suggestions n'ont pas été testées dans chaque région/type de sol ; l'utilisateur devra échanger avec son conseiller et d'autres agriculteurs. Cet outil n'inclut pas encore les systèmes en non-travail du sol et ne rentre pas dans les détails concernant la gestion des couverts (espèces, implantation, gestion, destruction). Une approche problématique adventice (partir d'une flore problématique particulière) est à venir.

POSTERS

Risque de résistance au glyphosate dans les systèmes de culture à base de maïs et effet sur la production agricole et la biodiversité

N. Colbach¹, S. Granger¹, V. Le Corre¹, A. Messéan², H. Darmency¹

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

² Eco-Innov, INRA, 78850 Thiverval-Grignon, France

Correspondance : Nathalie.Colbach@inra.fr

Résumé

L'utilisation répétée du glyphosate, en interculture et/ou en culture (dans le cas de cultures tolérantes au glyphosate), peut conduire à la sélection de populations d'adventices résistantes à cet herbicide. Dans cette étude, nous avons introduit un module de génétique dans le modèle de dynamique adventice FLORSYS prédisant mutation, sélection et coûts de la résistance. Nous avons simulé des systèmes de culture à base de maïs, avec différentes fréquences d'application de glyphosate, rotations, intensités de travail du sol et dates de semis. Nous avons analysé la probabilité et le délai d'apparition de la résistance, ainsi que son impact sur la nuisibilité et les bénéfices de la flore adventice, en fonction (1) des systèmes de culture, (2) des techniques culturales individuelles, (3) des traits d'espèces adventices.

Mots-clés : modèle, adventice, résistance au glyphosate, système de culture, trait, agroécologie

Introduction

La réduction de la gamme d'herbicides disponibles entraîne l'utilisation répétée d'herbicides ayant le même mode d'action, et donc le risque d'apparition de résistances à ce mode d'action dans la flore adventice visée. Le glyphosate fait partie de ces herbicides à risque, étant fréquemment appliqué en interculture, notamment en travail du sol simplifié. Si cette molécule est de plus appliquée en culture (dans le cas de cultures tolérantes au glyphosate), la sélection de populations d'adventices résistantes à cet herbicide est très probable. L'objectif de cette étude est d'introduire un module de génétique dans le modèle de dynamique adventice FLORSYS (Colbach *et al.*, 2014) afin de tester des systèmes de culture innovants pour leur risque d'apparition de résistance au glyphosate.

Matériel et méthodes

Un modèle de résistance monogénique bi-allélique a été introduit dans FLORSYS simulant mutation, ségrégation en croisement et en autofécondation, sélection et coût de fitness, puis il a été paramétré pour la résistance au glyphosate (Colbach *et al.*, en révision). Des simulations ont été réalisées avec des rotations à base de maïs dans deux régions (Aquitaine et Catalogne) pour quantifier les effets de différentes pratiques agricoles sur le risque d'apparition de résistance au glyphosate (Colbach *et al.*, en révision), puis l'effet de cette résistance sur la nuisibilité et les bénéfices de la flore adventice (Colbach *et al.*, soumis). Des tableaux de conseil ont été élaborés sur la base de ces simulations.

Résultats

Les simulations montrent que, pendant les 28 années simulées, (1) l'application de glyphosate induit la résistance des adventices uniquement si d'autres facteurs cultureux favorisent les adventices, particulièrement le semis direct (Tableau 1); (2) les applications de glyphosate en interculture augmentent plus le risque de résistance que celles en culture (résultats de régressions linéaires non montrés), (3) les applications de glyphosate sélectionnent plus les espèces ayant des traits leur évitant l'exposition à l'herbicide (ex. croissance initiale retardée, petite surface foliaire) - ou compensant les coûts de fitness - que les espèces étant effectivement résistantes à l'herbicide, (4) la résistance est la plus fréquente chez les espèces qui n'évitent pas l'herbicide (via leur taille ou leur cycle biologique) et chez les espèces peu

compétitives, (5) en cas de contrôle efficace de la flore, la résistance est plus fréquente chez les espèces allogames (Colbach *et al.*, en révision).

La mise en place de la résistance au glyphosate dans la flore adventice a peu d'effet sur la biodiversité végétale simulée, avec un remplacement des populations ou des espèces non résistantes par des populations ou des espèces résistantes (Colbach *et al.*, soumis). La nuisibilité des adventices pour la production agricole n'est affectée que lorsque la densité des adventices est faible, tout comme l'offre trophique pour les oiseaux, les carabes et les abeilles dépendant des adventices. L'identification des traits d'espèces les plus nuisibles pour la production agricole montre qu'aucune des 25 espèces adventices testées en simulation ne combine les traits les plus nuisibles pour la production agricole avec la résistance au glyphosate.

Tableau 1 : Effet des systèmes de culture à base de maïs testés dans deux régions sur la densité des adventices et la probabilité de résistance (1 plante mutante/m²). Résultats de simulations avec FLORSYS sur 28 ans et dix scénarios climatiques. Les chiffres d'une même colonne suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents à p=0,05 (tiré de Colbach *et al.* en révision)

Scénario	Aquitaine			Catalogne		
	Adventices/ m ² (log ₁₀)	Résistance (probabilité)	Années jusqu'à résistance	Adventices/ m ² (log ₁₀)	Résistance (probabilité)	Années jusqu'à résistance
1 Rotation diverse (sans glyphosate) [§]	1.27 C	0.9 EF	7 BC	2.29 C	1 E	10.1 A
2 Rotation diverse avec glyphosate en maïs	1.11 C	0.8 EDF	8.4 BC	1.82 D	0.7 DC	9.4 BA
3 + non-labour et glyphosate avant maïs en Aquitaine	-0.47 F	0.3 BAC	17.3 A	2.7 B	1 E	1.5 C
4 Blé/ maïs avec glyphosate en maïs	0.44 D	0.4 BC	10.8 BA	2.47 CB	1 E	7.4 BAC
5 + non-labour et glyphosate avant maïs	1.69 B	0.8 EDF	2.6 DC	2.71 B	1 E	1 C
6 Monoculture de maïs avec glyphosate en maïs	0.43 D	0.1 BA	20.6 A	0.85 E	0.5 BC	8.4 BAC
7 + semis précoce	0.04 E	0.6 EDC	9.6 BA	0.78 FE	0.4 B	12.3 A
8 + semis tardif	0.66 D	0.5 DC	8.7 BC	2.34 CB	0.8 DE	6.9 BAC
9 + non-labour	-1.08 G	0.5 DC	11.4 BA	0.11 G	0.3 BA	1.7 BC
10 + non-labour et semis précoce	-1.71 I	0 A	> 28	0.4 FG	0.1 A	8.7 BAC
11 + semis direct	3.51 A	1 F	1 D	3.51 A	1 E	4 BC
12 + semis direct avec 2 ^{ème} glyphosate [§]	3.46 A	1 F	1 D	3.27 A	0.9 DE	0.9 C
13 + semis direct avec 2 ^{ème} glyphosate [#] et semis précoce	3.47 A	1 F	1 D	3.51 A	1 E	2.5 BC
14 + culture de couverture [§] détruite par glyphosate	-1.26 HG	0 A	> 28	1.47 D	0.4 B	9.9 BA
15 + culture de couverture [§] détruite par travail du sol	-1.46 HI	0.3 BAC	2.2 DC	2.29 C	0.8 DE	10 A
R ² partiel – système de culture [•]	0.97 ****	0.49 ****	0.55 ****	0.86 ****	0.5 ****	0.33 ****
R ² partiel – répétitions climatiques	0 ns	0.02 ns	0.04 ns	0.02 *	0.1 ***	0.08 ns

[§] Soja/maïs/blé/maïs en Aquitaine, blé/luzerne/maïs en Catalogne. [§] orge en Aquitaine, triticales en Catalogne. [•] *, **, ***, ****: effet significatif à p=0.05, 0.01, 0.001, 0.0001, respectivement; ns: effet non significatif à p=0.05. [§] en interculture (A) ou 2^{ème} glyphosate en maïs (C) [#] en maïs

Perspectives

Des simulations supplémentaires sont nécessaires pour établir des conclusions plus génériques sur les risques et conséquences de la résistance aux herbicides. FLORSYS va être paramétré pour la résistance à d'autres herbicides, notamment aux inhibiteurs de l'ALS.

Financements

INRA, le projet européen AMIGA (FP7-KBBE-2011-5-CP-CSA), le projet CoSAC (ANR-14-CE18-0007) et le programme de recherche *Évaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides* financé par les Ministères en charge de l'Écologie et de l'Agriculture

Références

- Colbach N., Biju-Duval L., Gardarin A., Granger S., Guyot S.H.M., Mézière D., Munier-Jolain N.M., Petit S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research*, 54, 541–555
- Colbach, N., Darmency, H., Fernier, A., Granger, S., Le Corre, V., Messéan, A., soumis. Simulating changes in cropping practices in conventional and glyphosate-resistant maize. II. Effect on weed harmfulness and benefits. *Environmental Science and Pollution Research*
- Colbach, N., Fernier, A., Le Corre, V., Messéan, A., Darmency, H., en révision. Simulating changes in cropping practices in conventional and glyphosate-resistant maize. I. Effect on weeds. *Environmental Science and Pollution Research*

À quelle échelle concilier production agricole et biodiversité : au niveau du paysage ou dans chaque parcelle? Étude appliquée à la gestion des adventices

N. Colbach ¹, S. Cordeau ¹, S. Granger ¹, B. Ricci ¹, A. Messéan ²

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

² Eco-Innov, INRA, 78850 Thiverval-Grignon, France

Correspondance : Nathalie.Colbach@inra.fr

Résumé

Les adventices sont nuisibles pour la production agricole mais essentielles pour la biodiversité. Dans ce travail, nous avons simulé des petits paysages agricoles avec le modèle "parcelle virtuelle" FLORSYS pour déterminer s'il est préférable d'attribuer les services de production et de biodiversité à des terres différentes (séparation des terres, i.e. *landsparing*) ou de les concilier dans chaque parcelle (partage des terres, i.e. *landsharing*). Dans le cas des systèmes de culture à base de maïs utilisant des herbicides non-sélectifs très efficaces en Aquitaine, la séparation des terres associant des champs intensifs avec des champs en semis direct ou des bandes enherbées était plus efficace pour concilier production et biodiversité que le partage des terres. Ces résultats sont spécifiques à ce cas d'étude; des nouvelles simulations et règles de gestion doivent être établies pour d'autres objectifs, régions et types de système de production.

Mots-clés : paysage, bordure, modèle, agroécologie, adventice, mesure agri-environnementale

Introduction

Les adventices sont nuisibles pour la production agricole mais essentielles pour la biodiversité. Leur présence et leur densité dépendent des pratiques culturales, leurs semences survivent pendant plusieurs années dans le sol et se dispersent entre champs. Dans cette étude, nous avons utilisé le modèle de dynamique adventice FLORSYS (Colbach *et al.*, 2014) pour déterminer s'il vaut mieux concilier production agricole et biodiversité due aux adventices dans chaque parcelle (partage des terres, *landsharing*) ou au niveau du paysage en affectant les services de production agricole et de biodiversité à des espaces différents (séparation des terres, *landsparing*).

Matériel et méthodes

FLORSYS simule des îlots de parcelles virtuelles où l'on peut tester différents systèmes de culture. Ce modèle inclut la dispersion de semences liée aux vecteurs naturels (Thomson *et al.*, 2011) et prédit des indicateurs de l'impact de la flore adventice sur la biodiversité et la production agricole. Ici, nous avons simulé un îlot de 4 parcelles avec des conditions pédoclimatiques et floristiques d'Aquitaine. Trois types de scénario ont été testés: (1) un système (nommé dorénavant "partagé") avec une rotation soja/maïs/blé/maïs, du travail du sol superficiel, un herbicide total très efficace en maïs et des herbicides moins efficaces ou à spectre plus réduit dans les autres cultures, avec 4 assolements différents (Fig. 1.A); (2) cinq scénarios combinant un système maximisant la production agricole ("production") et un autre maximisant la biodiversité ("biodiversité") (Tableau 1.B); (3) un scénario semant 10% de chaque champ en bande enherbée et le reste en système "production". Chaque scénario a été simulé sur 28 ans et répété 10 fois avec des séries climatiques choisies aléatoirement parmi des enregistrements météo d'Aquitaine.

Résultats et discussion

Plus l'assolement est diversifié, plus la variabilité interannuelle de l'impact régional (moyenne sur le paysage) des adventices est faible (Fig. 1.B) et plus l'impact est fort (lignes 3 et 4 vs. 1 et 2, Tableau 1.A). En l'absence de dispersion, les semences d'avertices produites dans des cultures favorables aux adventices (ici le blé) en année N se reproduisent peu si la parcelle est cultivée en année N+1 avec des cultures défavorables (ici le maïs). La dispersion des champs cultivés en cultures favorables en année N vers des champs voisins cultivés en année N+1 avec des cultures favorables permet aux adventices d'éviter l'effet des cultures défavorables.

La production agricole augmente avec la proportion de champs cultivés selon le système "production", tandis que la biodiversité et la nuisibilité des adventices diminuent (en allant de la ligne 5 à la 9, Tableau 1.B). La biodiversité du paysage est plus élevée lorsque la proportion du système "biodiversité" est de 25% (ligne 8, Tableau 1.B), que lorsque tout le paysage est cultivé avec le système "partagé" (Tableau 1.A). La production du paysage est plus élevée et la nuisibilité plus faible si 25% des parcelles sont en système "production" (ligne 6, Tableau 1.B), que si 100% des champs sont en système "partagé" (Tableau 1.A). Les résultats sont similaires si 90% de la surface sont en système "production" et le reste en bandes enherbées (Tableau 1.C).

Conclusion

Avec les fonctions de dispersion de semences utilisées dans notre étude, la séparation des terres est plus efficace que le partage des terres pour concilier production agricole et biodiversité à l'échelle des îlots simulés et cultivés avec des systèmes de culture à base de maïs dans des conditions pédoclimatiques d'Aquitaine.

Financements

INRA, le projet européen AMIGA (FP7-KBBE-2011-5-CP-CSA), le projet CoSAC (ANR-14-CE18-0007) et le programme de recherche *Évaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des Pesticides* financé par les Ministères en charge de l'Écologie et de l'Agriculture

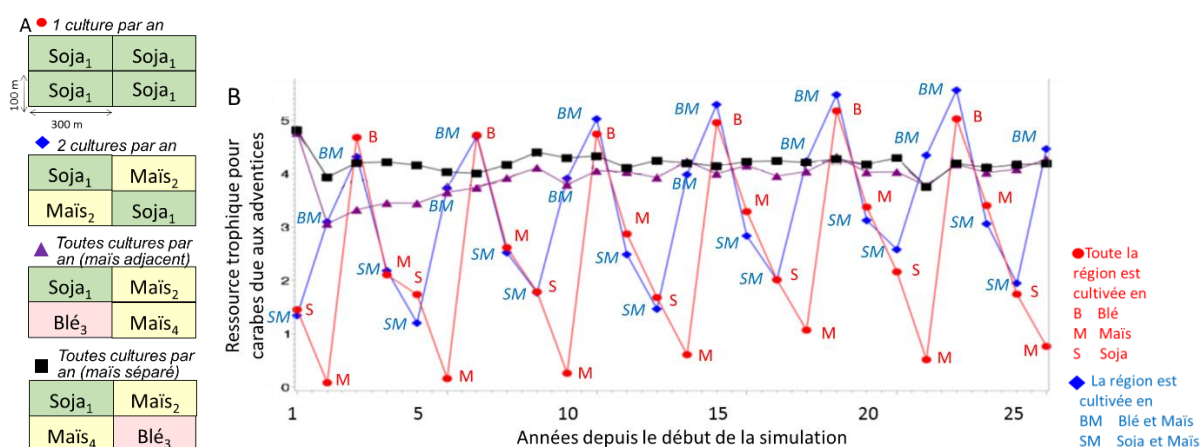


Figure 1 : Effet de l'assolement sur l'impact des adventices. A. Assolement de la rotation soja/maïs/blé/maïs à la 1^{ère} année. B. Exemple de contribution à la biodiversité au niveau de l'îlot de parcelles (moyenne sur 10 répétitions)

Tableau 1 : Indicateurs d'impact des adventices sur la biodiversité et la production agricole au niveau de l'îlot de parcelles (moyenne sur les champs et les années). Les moyennes suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à $p=0.05$ (test LSD après anova en fonction du scénario, de l'année et de la répétition)

Scénario ⁵	Contribution à la biodiversité				Production agricole (MJ/ha)	Nuisibilité pour la production			
	Richesse spécifique	Nourriture pour				Perte de rendement (%)	Pollution des récoltes	Problèmes de récolte	Salissement du champ
		carabes	abeilles						
A. Assolement dans le paysage cultivé en soja/maïs/blé/maïs (nombre de cultures par an) – système partagé									
1 Une	11.2 G	2.5 I	0.7 F	68344 D	23 E	1.2 F	1.6 G	1.1 F	
2 Deux	12.0 E	3.4 H	0.9 E	60184 E	34 C	1.6 E	1.9 F	1.6 D	
3 Toutes (maïs adjacent)	12.9 DC	3.9 G	1.1 D	55511 F	40 B	1.9 DC	2.3 DE	2.0 B	
4 Toutes (maïs séparé)	12.9 D	4.2 E	1.1 D	51920 G	44 A	2.0 C	2.4 C	2.2 A	
B. Pourcentage de champs cultivés avec un système de culture % "production" & vs. "biodiversité" # dans le paysage									
5 0% - 100%	15.7 A	8.7 A	2.8 A	59257 E	41 B	2.8 A	3.2 A	1.8 C	
6 25% - 75%	14.9 B	7.5 B	2.2 B	70045 D	30 D	2.4 B	2.8 B	1.4 E	
7 50% - 50%	13.7 C	6.1 C	1.6 C	80603 C	20 F	1.9 D	2.2 E	0.9 G	
8 75% - 25%	11.7 F	4.4 D	0.9 E	90257 B	10 G	1.2 F	1.4 H	0.4 H	
9 100% - 0%	8.4 H	0.6 J	0.2 G	100452 A	0 H	0.0 G	0.0 I	0.0 I	
C. 10% du paysage en bandes enherbées, 90% en système "production"									
10 1 fauche par an	10.7 H	3.5 G	0.55 G	90161 B	14 H	0.9 G	1.1 G	0.0 I	
R ² partiel	0.33	0.87	0.66	0.43	0.38	0.45	0.44	0.31	

⁵Toujours significatif à $p=0.0001$. ⁶Travaillé deux fois ⁷Semis direct. ⁸Monoculture de maïs avec herbicide total très efficace en culture.

Références

- Colbach N., Biju-Duval L., Gardarin A., Granger S., Guyot S.H.M., Mézière D., Munier-Jolain N.M., Petit S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research*, 54, 541–555
- Thomson F.J., Moles A.T., Auld T.D., Kingsford R.T., 2011. Seed dispersal distance is more strongly correlated with plant height than with seed mass. *Journal of Ecology*, 99, 1299–1307

Impact sur le long terme d'une pulvérisation localisée sur la flore adventice. Une étude de Simulation

T. Maillot, G. Jones, S. Villette, J.N. Paoli, C. Gée, N. Colbach

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

Correspondance : thibault.maillot@agrosupdijon.fr

Résumé

Afin d'évaluer l'intérêt sur le long terme d'une pulvérisation localisée d'herbicides, nous comparons l'évolution d'indicateurs d'impact de la flore adventice (rendement, biomasse des adventices, ...) pour une pulvérisation en plein et localisée. Les simulations sont conduites à l'aide du logiciel FLORSYS pour une monoculture de maïs de 30 ans et 10 répétitions climatiques, avec des adventices réparties en agrégats ou de manière uniforme. En cas de pulvérisation localisée, le rang est intégralement traité et le traitement des adventices de l'inter-rang est réalisé en fonction de taux de détection des adventices. Ces derniers dépendent de la taille des plantes et ont été définis suite à des essais. La pulvérisation localisée permet un contrôle de la flore adventice sur le long terme, tout en diminuant les quantités d'herbicides appliqués.

Mots-clés : adventice, agriculture de précision, simulation, modèle, système de culture

Introduction

La réduction des intrants est un des enjeux majeurs de l'agriculture. Les réglementations européennes imposent une forte réduction des usages des pesticides, ce qui nécessite de repenser les pratiques agricoles (Butault et al., 2011). Les herbicides représentent près de la moitié des usages de pesticides (Ministère de l'Agriculture, 2015). Ils pèsent sur l'économie des exploitations (Butault et al., 2011), l'environnement et la santé humaine (Baldi et al., 2013). La détection des adventices et la pulvérisation localisée est un des leviers permettant de réduire l'usage des herbicides (Aubertot et al., 2007).

Récemment, un module de pulvérisation localisé a été intégré dans FLORSYS (Colbach et al., 2014) en vue d'évaluer le niveau de contrôle sur le long terme de la flore adventice d'une pulvérisation localisée. Ce travail vise à comparer une pulvérisation localisée à une pulvérisation en plein en termes de dynamique de la population d'adventices et de rendement de la culture.

Matériel et méthode

FLORSYS est un modèle "parcelle virtuelle" qui simule la dynamique de la flore adventice et son impact sur la production agricole et la biodiversité en fonction des systèmes de culture et du pédoclimat. Ici, nous avons simulé deux systèmes de culture en monoculture de maïs, sur une période de 30 ans. Ces systèmes se distinguent uniquement par la pulvérisation, en plein ou localisée. Dans ce dernier cas, le rang est traité en plein, et seules les plantes adventices présentes dans l'inter-rang sont traitées spécifiquement.

Chaque simulation est répétée 80 fois afin de prendre en compte différentes conditions météorologiques et de consolider les résultats obtenus. Les résultats de détection obtenus lors d'essais de pulvérisation localisée, via un système commercial (Maillot et al., 2016) sont utilisés pour paramétrer le module de pulvérisation localisée de FLORSYS en termes de taux de détection, de largeur et longueur de la tache traitée.

FLORSYS prédit de nombreux indicateurs d'impact de la flore adventice sur la production agricole, la biodiversité et l'environnement pour chaque campagne culturale. Dans notre étude, nous avons considéré la richesse spécifique de la flore adventice, la contamination des récoltes par les débris et semences adventices, le rendement en grain, le salissement de la parcelle et la proportion de la parcelle traitée (Colbach et al., 2014). Chaque indicateur est analysé via une régression linéaire pour estimer les influences des paramètres de simulation (dont les types de pulvérisation). Les moyennes et variances des indicateurs obtenues avec et sans pulvérisation localisée ont été comparées via une ANOVA et un test de Student.

Résultats et discussion

En cas de pulvérisation localisée définie précédemment, par rapport à une pulvérisation en plein :

- nous observons une réduction d'environ 50% de la surface pulvérisée, en moyenne,
- les différents indicateurs testés restent équivalents en termes de moyenne,
- la variance des indicateurs entre années est plus importante dans le cas d'une pulvérisation localisée, ce qui indique des pics d'infestation. Ces pics sont néanmoins maîtrisés et l'infestation globale reste stable.

Conclusion

Des premiers résultats prometteurs sur l'impact d'une pulvérisation localisée sur la population d'adventices ont été obtenus. L'analyse d'indicateurs d'impact de la flore adventice semble montrer qu'utiliser une pulvérisation localisée, par rapport à une pulvérisation en plein, ne change pas, en moyenne, la nuisibilité de la flore adventice. Elle permet également une diminution de la quantité d'herbicide pulvérisée jusqu'à 50%. Des travaux doivent encore être menés pour évaluer l'impact du taux de détection des adventices.

Remerciements

Le travail présenté est financé par le projet ANR CoSAC (ANR-14-CE18-0007).

Références bibliographiques

- Aubertot, J.-N., Barbier, J.M., Carpentier, A., Gril, J.-N., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Voltz, M., 2007. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective Inra-Cemagref (décembre 2005).
- Baldi, I., Cordier, S., Coumoul, X., Elbaz, A., Gamet-Payrastre, L., Le Bailly, P., Multigner, L., Rahmani, R., Spinosi, J., Van Maele-Fabry, G., 2013. Pesticides: effets sur la santé. INSERM Inst. Natl. Santé Rech. Médicale Paris.
- Butault, J., Delame, N., Jacquet, F., Zardet, G., 2011. L'utilisation des pesticides en France: état des lieux et perspectives de réduction. Notes Études Socio-Économiques 35, 1–24.
- Colbach, N., Biju-Duval, L., Gardarin, A., Granger, S., Guyot, S.H.M., Meziere, D., Munier-Jolain, N., Petit Michaut, S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. Weed Res. 54, 541–555. doi:10.1111/wre.12112
- Maillot, T., Gee, C., Gobin, B., Villette, S., Vioix, J.-B., Jones, G., Paoli, J.-N., 2016. I-Weed Robot : un outil pour l'étude de population de plantes adventices. 23e Conférence COLUMA Journ. Int. Sur Lutte Contre Mauvaises Herbes.
- Ministère de l'Agriculture (Direction générale de l'alimentation du Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt), 2015. Ecophyto 2 : Note de suivi 2015 - Tendances du recours aux produits phytopharmaceutiques de 2009 à 2014.

Développement d'un outil d'aide à la décision pour la gestion intégrée des adventices : implication des futurs utilisateurs

F. Colas ¹, S. Cordeau ¹, M.-H. Jeuffroy ², S. Granger ¹, W. Queyrel ¹, O. Pointurier ¹, A. Rodriguez ³, J. Villerd ⁴, N. Colbach ¹

¹ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

² UMR Agronomie, INRA, AgroParisTech, Université Paris Saclay, 78 850 Thiverval-Grignon, France

³ Acta, 31450, Baziège, France

⁴ LAE, INRA, Univ. Lorraine, F-54500 Vandœuvre-lès-Nancy, France

Correspondance : floriane.colas@inra.fr

Résumé

Afin de concevoir un outil d'aide à la décision pour aider à la gestion intégrée des adventices à partir du modèle FlorSys, nous avons développé une méthode afin d'utiliser le contenu logique et objectif de FlorSys et de co-construire la structure et le format de l'outil. Différents acteurs ont été associés dans le co-développement de l'outil afin d'adapter les prototypes aux objectifs et contraintes des agriculteurs, via des enquêtes, des rencontres et des ateliers avec les futurs utilisateurs. Ces interactions ont permis de déterminer 2 cas d'usages : (1) la reconception de système de cultures via des méta-règles de décisions ; (2) l'ajustement des pratiques avec des listes détaillées d'opération. L'outil devra comporter 3 composantes : (1) un guide de conception de système ; (2) des tests et évaluations synthétiques et (3) des tests et évaluations détaillées.

Mots-clés : outil d'aide à la décision, adventices, modèle, développement, cadre conceptuel

Introduction

La gestion intégrée des adventices consiste à combiner de nombreuses pratiques agricoles en anticipant leurs effets à long terme. La multitude de combinaisons possibles rend les systèmes de culture difficiles à concevoir et l'interaction avec le climat rend les systèmes difficiles à évaluer. Les agriculteurs et conseillers agricoles ont besoin d'outils d'aide à la décision leur permettant de développer des stratégies adaptées à l'aspect multicritères de la gestion de la flore adventice, aux enjeux économiques, sociaux et environnementaux et aux moyens disponibles et objectifs particuliers de chaque agriculteur. Le contenu de l'outil d'aide à la décision est développé à partir du modèle mécaniste de dynamique de la flore adventice FLORSys (Colbach et al., 2014). Ce modèle simule une "parcelle virtuelle" et permet l'évaluation des performances de systèmes de culture sur une large gamme de situations agricoles et pédoclimatiques. Pour impliquer les futurs utilisateurs et ainsi favoriser l'adoption future de l'outil (Cerf et al., 2012), les futurs utilisateurs, conseillers agricoles et agriculteurs ont été mobilisés pour définir sa structure et sa forme. L'objectif de cette étude est de présenter la méthode mise en place pour interagir avec les futurs utilisateurs

Matériels et Méthodes

Les interactions avec les futurs utilisateurs ont pris différentes formes en fonction de l'objectif visé : (1) des enquêtes en ligne dans toute la France auprès des conseillers agricoles et de quelques agriculteurs, pour définir les utilisations possibles de l'outil, les contraintes pour l'utilisation de l'outil, la fonctionnalité et la lisibilité des sorties potentielles ; (2) une réunion avec des agriculteurs pour présenter les réponses des conseillers aux enquêtes et confronter leurs avis avec celui des conseillers ; (3) une réunion pour présenter une possible sortie de l'outil, afin d'identifier les points forts et faibles de cette représentation ; (4) des ateliers avec des groupes agriculteurs et conseillers pour tester l'OAD plus abouti.

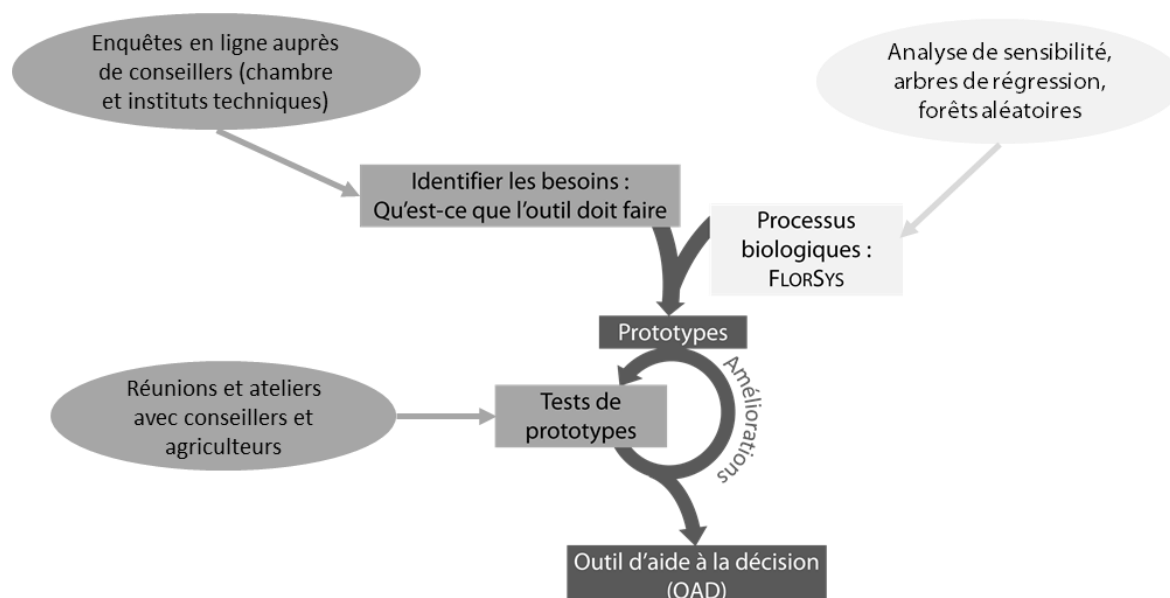


Figure 1 : Trame conceptuelle pour la co-construction avec les futurs utilisateurs d'outils d'aide à la décision à partir d'un modèle biophysique. Les ellipses représentent les méthodes, les rectangles les objectifs, le gris clair concerne le contenu de l'outil et le gris foncé concerne la structure et le format ainsi que l'implication des acteurs.

Résultats et Discussion

Les enquêtes ont aidé à identifier 2 cas d'usage d'un outil d'aide à la décision : (1) lors de problèmes importants nécessitant un changement radical (cas de résistances aux herbicides, fortes infestation d'adventices), il faut un outil synthétique s'appuyant sur des méta-règles de décision ; (2) pour des cas d'ajustement du système avant d'arriver dans le mur, il faut un outil plus détaillé, avec des listes d'opération précises. Pour s'adapter à ces cas d'usages et aux possibilités du modèle, l'outil devra posséder 3 composantes : (1) un guide pour aider à la conception de systèmes *via* des arbres de décision ; (2) un outil pour faire des tests et évaluations en direct *via* des forêts aléatoires ; (3) un outil pour faire des évaluations détaillées *via* FLORSys simplifié, accéléré et pré-paramétré.

Conclusions

Les interactions avec les futurs utilisateurs sont essentielles au développement d'un outil d'aide à la décision. Nous avons présenté ici une méthode permettant d'associer les utilisateurs à chaque étape du développement : quelle utilisation de l'outil, quelles sorties de l'outil et quelles améliorations pour l'outil ? En combinaison avec les informations issues de l'analyse de sensibilité et la méta-modélisation, nous pourrions développer un outil d'aide à la décision objectif et utile aux agriculteurs et conseillers agricoles.

Financements

INRA (départements : EA et MaIAGE), le projet CoSAC (ANR -14 -CE18CE18CE18 -0007) et la région Bourgogne.

Références

- Colbach, N., Biju-Duval, L., Gardarin, A., Granger, S., Guyot, S. H. M., Mézière, D., Munier-Jolain, N. M., Petit, S., 2014. The role of models for multicriteria evaluation and multiobjective design of cropping systems for managing weeds. *Weed Research* 54, 541-555.
- Cerf M., Jeuffroy M. H., Prost L., Meynard J. M., 2012. Participatory design of agricultural decision support tools: taking account of the use situations. *Agronomy for sustainable development*, 32, 899-910.

Projet Inter-instituts Syppre : production de connaissances sur des stratégies de gestion durable des adventices en grande culture

C. Toqué ¹, A.L. de Cordoue ¹, S. Cadoux ², P. Pierson ¹, R. Duval ³, A. Tailleur ¹, F. Flenet ², F. Angevin ⁴

¹ ARVALIS Institut du Végétal, 91720 Boigneville, France

² Terres Inovia, 78850 Thiverval-Grignon, France

³ ITB, 75008 Paris, France

⁴ Eco-Innov, INRA, 78850 Thiverval-Grignon, France

Correspondance : c.toque@arvalisinstitutduvegetal.fr

Résumé

Pour relever les défis auxquels les grandes cultures font face, le projet Syppre vise à produire des connaissances sur des stratégies techniques originales qui constitueront des ressources pour accompagner la reconception de nouveaux systèmes de culture (Sdc). Le défi de la gestion durable des adventices est particulièrement compliqué, car il implique de combiner plusieurs leviers à l'échelle des Sdc, en intégrant les impacts sur les performances de l'exploitation agricole et sur l'environnement. Or, si les leviers de la protection intégrée et leurs effets sont connus, leurs effets combinés sur la régulation de la flore sont encore peu documentés, et, les outils existant pour guider les démarches de changement de Sdc ont des manques. Le poster présentera les problématiques adventices et les stratégies mises en œuvre sur les plateformes expérimentales Syppre et leurs performances évaluées en *ex-ante*, qui ainsi que la contribution de ces supports à la mise au point d'un outil d'aide à la conception de stratégie de gestion durable des adventices selon l'ambition du projet ANR CoSAC.

Mots-clés : système de culture, durabilité, adventices, co-conception, gestion intégrée

Introduction :

Concilier l'ensemble des enjeux qui s'imposent à l'agriculture impose d'évoluer vers de nouveaux systèmes de culture (SdC). Pour relever ce défi, les instituts techniques des grandes cultures, Arvalis - Institut du végétal, ITB et Terres Inovia ont lancé le projet Syppre, qui s'organise en trois volets : un observatoire des pratiques, cinq plateformes expérimentales et des réseaux d'agriculteurs. Le projet vise à définir des pratiques et des stratégies techniques originales qui constitueront une ressource pour les agriculteurs et leurs conseillers, et à favoriser leur appropriation. Dans cet article, nous nous concentrerons sur la problématique de la gestion durable des adventices, avec une présentation simplifiée i) des stratégies inventées et mise en œuvre dans les Sdc expérimentés sur les plateformes Syppre, et ii) de l'évaluation *ex-ante* de leurs performances techniques et économiques.

Matériel et Méthode

Les Sdc innovants expérimentés sur les plateformes Syppre ont été co-conçus en ateliers rassemblant sur chaque site un panel de chercheurs, conseillers locaux, agriculteurs et acteurs des filières (Toqué *et al.*, 2015).

Un tronc commun d'objectifs nationaux a constitué un premier guide pour la conception dans les cinq situations : concilier productivité physique et rentabilité économique pour les agriculteurs et l'excellence environnementale. Des études prospectives régionalisées ont permis de compléter ces objectifs en intégrant les enjeux locaux. La gestion durable des adventices a été une des priorités dans les situations Syppre Lauragais, Syppre Berry et Syppre Béarn, du fait de l'historique de rotations et techniques de travail du sol particulièrement simplifiées (Pierson *et al.*, 2016). Pour les situations Syppre Picardie et Syppre Champagne, si d'autres enjeux ont été ciblés, (fertilité du sol entre autre), l'impact des Sdc innovants sur la flore et l'usage des herbicides a été évalué *ex-ante* par précaution. Dans la figure 1, le « risque adventice » a été évalué avec l'outil ODERA-Systèmes. L'outil Systerre® a été utilisé pour estimer l'usage des herbicides (IFT produit), la rentabilité (Marge Semi-Nette (S-N) en €/ha) ainsi que les données de base pour calculer la productivité plante entière (productivité p.e.) des Sdc (en MJoules/ha) (de Cordoue *et al.* 2016).

Résultats et Discussion

Les leviers de la gestion intégrée des adventices ont été largement mobilisés lors de la conception des Sdc innovants : diversité des espèces cultivées et des couverts, alternance de périodes de semis, des profondeurs et techniques de travail du sol, lutte mécanique,... Les stratégies imaginées sont des combinaisons spécifiques adaptées aux contextes pédoclimatiques, aux enjeux visés, et aux attentes vis-à-vis de la flore locale. Elles seront décrites dans le poster à l'aide de schémas décisionnels. Les évaluations *ex-ante* montrent que les stratégies sont prometteuses pour les situations Berry, Lauragais, avec une réduction du risque « adventices », sans dégradation significative de la rentabilité. Pour Syppre Berry, la baisse de productivité plante entière du Sdc innovant est la conséquence de l'introduction d'espèces utiles pour la gestion de la flore mais moins productives. Cet exemple illustre la nécessité de faire des compromis entre les enjeux ciblés, au moins temporairement. Il met aussi en avant une limite de l'évaluation *ex-ante*, qui compare le Sdc innovant à la situation de référence actuelle, et non à une situation future pour laquelle on pose l'hypothèse d'une dégradation, en l'absence de changement.

Situation :	PICARDIE	CHAMPAGNE	BERRY	LAURAGAIS	BEARN ⁽²⁾
<i>Flore locale dominante⁽¹⁾</i>	<i>Mercuriale, matricaire, vulpin, renouée l., ...</i>	<i>Pensée des c., véronique FDL, coquelicot, stellaire i, ...</i>	<i>Géranium d, vulpin, brome m, ray-grass, gaillet, ...</i>	<i>Ray-grass, coquelicot, ammi é, chénopode, panic pdc, ...</i>	<i>Panic pdc, liseron des h, renouée l, digitale s, datura s, ...</i>
Objectifs					
↘IFT Produit Herbicide	-34%	-23%	+4%	+11%	-31%
↘Risque Adventices	+6%	+19%	-44%	-6%	(3)
↗Productivité p.e. (MJ)	-2%	-2%	-14%	+21%	+18%
↗Marge S-N (€/ha)	-16%	-5%	+7%	+22%	+1%

Figure 1 : Évaluation *ex-ante* des Sdc i Syppre. IFT Produit Herbicide : écart à la référence local en % ; Autres indicateurs = écart au Sdc de référence optimisé en %; ⁽¹⁾ en situation de référence ; ⁽²⁾ Sdci = Maïs sous couvert vivant ; situation non prise en compte par ODERA-Systèmes.

La stratégie imaginée pour le Sdc innovant Syppre Béarn permettrait de réduire l'usage des herbicides, avec une baisse d'IFT de 31% par rapport à la référence. La hausse d'IFT pour les Sdc innovants Syppre Berry et Syppre Lauragais est plus étonnante : elle traduit d'une part une gestion volontairement prudente des adventices par les expérimentateurs le temps de la mise en place des mécanismes de régulations attendues, et d'autre part, la difficulté de prévoir les régulations de la flore permises par des pratiques prometteuses combinées.

Conclusion et Perspectives

Si la gestion durable des adventices est un des enjeux prioritaires en grandes cultures, sa mise en œuvre reste compliquée car elle nécessite de repenser des stratégies multi-leviers à l'échelle des Sdc en intégrant les contraintes économiques et organisationnelles des exploitations agricoles. Par ailleurs, il reste difficile d'estimer à priori l'effet des stratégies sur la flore, d'autant plus quand elles sont innovantes, et aucun outil n'intègre actuellement l'ensemble de critères techniques, environnementaux, économiques et organisationnels. C'est une des ambitions du projet ANR Cosac, qui vise à développer un « Outil d'aide à la conception » de stratégies de gestion des adventices durable. Le projet Syppre contribue avec une mise à disposition des connaissances acquises sur les stratégies innovantes mises au point sur les plateformes, et pourra mettre à l'épreuve l'outil en situation de conception avec des réseaux d'agriculteurs.

Références

- Toqué C, Cadoux S, Pierson P, Duval R, Toupet AL, Flenet F, Carroué B, Angevin F, Gate P: 2015. SYPPRE: A project to promote innovations in arable crop production mobilizing farmers and stakeholders and including co-design, ex ante evaluation and experimentation of multi-service farming systems matching with regional challenges. 5th International Symposium for FSD. September 7-10, 2015.
- de Cordoue AL, Cadoux S., Toque C., Pierson P., Duval R., Tailleur A., Flenet F., Angevin F., Gate P. Co-design of agro-ecological cropping systems combining global and local issues. 14th ESA Congress, September 5-9, 2016.
- Pierson P., Toqué C., Toupet-De Cordoue AL. Plateformes expérimentales SYPPRE : des références locales pour atteindre la multiperformance. Perspectives Agricole ; Juin 2016. N°434.

LISTE DES AUTEURS

Abiven.....	19	Messéan.....	74
Angevin.....	4, 67, 81	Métais.....	4, 34, 53
Bockstaller.....	38	Meyer.....	38
Bonin.....	70	Moreau.....	4, 17, 19, 27, 44
Brulebois.....	7	Mouquot.....	70
Brun.....	34	Munier-Jolain.....	23, 34
Busset.....	19, 27	Pagès.....	4, 17, 19
Cadoux.....	81	Paoli.....	77
Castel.....	7	Pasquier.....	67
Colas.....	32, 46, 59, 64, 79	Piaud.....	70
Colbach.....	4, 17, 23, 30, 32, 36, 38, 42, 44, 46, 50, 59, 62, 64, 74, 77, 79	Pierson.....	81
Cordeau.....	11, 53, 59, 74, 79	Pointurier.....	17, 34, 44, 64, 79
Dairon.....	48	Poulain.....	17
de Cordoue.....	81	Prieur.....	70
Délye.....	36	Queyrel.....	48, 50, 64, 79
Dugué.....	11, 23	Rabolin.....	38
Duval.....	81	Reibel.....	11
Flenet.....	81	Ricci.....	30, 74
Gauchi.....	46	Richard.....	7
Gée.....	56, 77	Rodriguez.....	4, 70, 79
Gibot-Leclerc.....	44	Ronget.....	70
Granger.....	59, 74, 79	Sauvage.....	17
Guillemin.....	11	Schneider.....	38
Jeuffroy.....	59, 79	Serra.....	17
Jolys.....	34	Strbik.....	11, 23
Jones.....	77	Tailleur.....	81
Le Corre.....	36	Toqué.....	81
Lieven.....	70	Ubertosi.....	48
Lizon-Au-Ciré.....	11	Vieira.....	30
Maillot.....	77	Villerd.....	4, 32, 34, 38, 46, 59, 64, 79
Matejcek.....	11, 19, 27	Villette.....	25, 77
		Vuillemin.....	4, 34, 53, 70