

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

VALORISER LA DIVERSITE CULTIVEE POUR REGULER LES ADVENTICES : LE PROJET CASDAR RAID

D. MOREAU⁽¹⁾, A. BASSET⁽²⁾, N. COLBACH⁽¹⁾, S. CORDEAU⁽¹⁾, N. HARZIC⁽²⁾, J. LABREUCHE⁽³⁾,
T. MAILLOT⁽¹⁾, L. PERTHAME⁽¹⁾, O. POINTURIER⁽¹⁾, W. QUEYREL⁽¹⁾, JB. VIOIX⁽⁴⁾, AS. VOISIN⁽¹⁾
⁽¹⁾Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, Dijon
⁽²⁾Jouffray-Drillaud, Cissé
⁽³⁾Arvalis Institut du végétal, Boigneville
⁽⁴⁾Univ. Bourgogne Franche-Comté, Auxerre

Correspondance : delphine.moreau@inra.fr

RESUME

Favoriser la régulation des adventices par compétition peut être un levier pour réduire le recours aux herbicides. Cependant, les agriculteurs se heurtent à l'absence d'outils et de conseils pour les aider à rationaliser le choix des espèces/variétés cultivées à semer dans cette optique. Ceci nécessite une meilleure connaissance de l'aptitude à la compétition des espèces/variétés et des caractéristiques biologiques sous-jacentes. Rassemblant un institut de recherche, un institut technique et un semencier, le projet Casdar RAID (2018-2021) vise à : (1) mieux connaître la diversité cultivée sur son aptitude à la compétition, (2) évaluer ses performances dans les systèmes de culture en termes de régulation des adventices et d'impacts sur la production agricole et sur la biodiversité et (3) de manière prospective, identifier les 'caractéristiques idéales' des cultures/couverts (idéotypes) favorisant la régulation des adventices. RAID se focalise sur une espèce de rente (le pois protéagineux) et des espèces de couvert. Il combine expérimentations en conditions contrôlées, au champ et expérimentations virtuelles réalisées avec le modèle FLORSYS qui simule les effets des systèmes de culture sur la dynamique des adventices et le rendement des cultures. Ce projet devrait déboucher sur des grilles de conseils pour guider les agriculteurs dans le choix des espèces/variétés à semer pour favoriser la régulation des adventices. Il devrait aussi guider les sélectionneurs sur les critères à mesurer pour sélectionner sur l'aptitude à la compétition.

Mots-clefs : Pois, plante de couvert, compétition, régulation, adventices

ABSTRACT

USING CROP DIVERSITY TO REGULATE WEEDS: THE CASDAR RAID PROJECT

Promoting weed regulation by competition may help to reduce herbicide use. However, farmers are faced with the lack of tools to rationalize the choice of crop species/varieties for this purpose. This requires a better knowledge of the competitive ability of the species/varieties and the underlying biological characteristics. Bringing together a research institute, a technical institute and a seed company, the Casdar RAID project (2018-2021) aims to: (1) better understand crop competitive ability, (2) evaluate crop performance in cropping systems in terms of weed control and impacts on agricultural production and biodiversity and (3) prospectively, identify the 'ideal characteristics' of crops/cover crops (ideotypes) favoring weed regulation. RAID focuses on a cash crop (pea) and cover crop species. It combines experiments under controlled conditions, in the field and virtual experiments carried out with the FLORSYS model that simulates the effects of cropping systems on weed dynamics and crop yield. This project should provide grids of advice to guide farmers in the choice of species/varieties to be sown to promote the regulation of weeds. It should also guide breeders on the criteria to be measured to select on crop ability to compete for resources.

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Le contrôle des adventices est essentiel pour la production agricole et le revenu des agriculteurs. Cependant, alors que les herbicides offrent la technique curative la plus efficace, il est nécessaire de réduire leur utilisation pour des raisons sanitaires, environnementales et techniques, et aussi face à la pression sociétale. Dans ce contexte, mieux valoriser la biodiversité fonctionnelle et les interactions biologiques dans l'optique d'assurer différentes fonctions de l'agroécosystème fait partie intégrante des défis à relever dans le cadre de l'agroécologie afin de concevoir des systèmes de culture moins dépendants des intrants de synthèse. En particulier, valoriser la biodiversité végétale cultivée dans sa capacité à acquérir efficacement les ressources (lumière et ressources du sol) peut être un levier pour favoriser la régulation biologique des adventices, via le processus écologique de compétition, et ainsi réduire le recours à la régulation chimique par les herbicides. Cependant, aujourd'hui on se heurte à :

- L'absence d'outils pour guider les agriculteurs/conseillers à rationaliser le choix des espèces et des variétés à semer en fonction de leur situation de production (contexte pédoclimatique, floristique et système de culture) dans l'optique de favoriser la régulation biologique des adventices.
- Une caractérisation insuffisante des ressources phytogénétiques sur l'aptitude à la compétition pour les ressources. L'une des raisons est vraisemblablement un manque d'informations disponibles pour les sélectionneurs sur des critères qui permettraient d'évaluer facilement l'aptitude à la compétition de différentes espèces/variétés.

L'aptitude des variétés cultivées à concurrencer les adventices tend à être de plus en plus étudiée mais, aujourd'hui, elle n'est pas un critère de sélection explicite dans l'amélioration variétale. Pourtant, pour différentes espèces, il existe une grande diversité génétique au niveau intraspécifique suggérant qu'il serait possible de faire de la sélection variétale pour l'aptitude à la concurrence vis-à-vis des adventices. Par ailleurs, en grande culture, l'introduction d'espèces de couvert en interculture ou en association avec une culture de rente est de plus en plus fréquente. Compte tenu de la grande diversité des espèces de couvert, le potentiel de régulation biologique des adventices est probablement très différent selon les espèces mais celui-ci est insuffisamment documenté. Enfin, les associations d'espèces sont certes cultivées pour leur complémentarité dans la valorisation des ressources, mais leur capacité à réguler les adventices est également peu étudiée.

Rassemblant un institut de recherche, un institut technique et un semencier, ce projet vise à :

- Mieux connaître la diversité végétale cultivée, au sein d'une gamme d'espèces/variétés, sur son aptitude à la compétition pour les ressources ;
- Evaluer les performances de ces espèces/variétés dans les systèmes de culture en termes de régulation biologique des adventices, et d'impact sur la production agricole et sur la biodiversité, aussi bien sur une échelle annuelle que pluriannuelle ;
- De manière prospective, identifier quelles pourraient être les caractéristiques des « plantes idéales » (idéotypes) permettant de favoriser la régulation des adventices, dans des systèmes de culture multiperformants en termes de production agricole et d'impact sur l'environnement.

Ce projet cible une espèce de rente (le pois protéagineux) et des espèces de couvert.

2 DEMARCHE

L'approche met en œuvre des expérimentations en conditions contrôlées pour mesurer les caractéristiques biologiques des plantes impliquées dans les processus déterminant l'aptitude à la compétition. Elle mobilisera également des expérimentations au champ pour évaluer les performances d'espèces/variétés dans leur aptitude à la régulation biologique des adventices. En complément, ce projet utilise une approche originale et innovante en réalisant des expérimentations virtuelles, via l'utilisation d'un modèle de simulation, afin d'évaluer :

- Les performances des espèces/variétés (i) non seulement en termes de régulation des adventices et de production agricole mais également en termes d'impacts sur la biodiversité liée aux adventices (ressources trophiques pour la faune, les pollinisateurs) ; et (ii) sur un pas de temps plus long que celui permis par les expérimentations au champ, afin de prendre en compte le fait que les semences adventices peuvent persister dans le stock semencier du sol sur plusieurs années.

- Les performances de plantes virtuelles, définies par une combinaison virtuelle de caractéristiques biologiques, et ainsi identifier les caractéristiques des plantes les plus adaptées (idéotypes), dans différentes situations de production, pour favoriser la régulation biologique des adventices.

Le projet propose d'utiliser le modèle FLORSYS qui est aujourd'hui le seul modèle quantifiant les effets des systèmes de culture sur la dynamique d'une flore adventice plurispécifique avec un pas de temps journalier, en interaction avec le pédoclimat (Gardarin *et al.*, 2012; Munier-Jolain *et al.*, 2013; Colbach *et al.*, 2014; Munier-Jolain *et al.*, 2014; Mézière *et al.*, 2015). Pour atteindre ses objectifs, le projet est constitué de quatre actions présentées dans les sections suivantes.

3 CARACTERISER UNE GAMME D'ESPECES/VARIETES SUR LEUR APTITUDE A LA COMPETITION

3.1 OBJECTIF ET DEMARCHE

Il s'agit de mesurer les caractéristiques biologiques impliquées dans la compétition pour la lumière et l'azote pour des espèces de couverts légumineuses, des variétés de pois et des espèces adventices. Ce travail met en œuvre des expérimentations en parcelles jardinées pour mesurer les caractéristiques liées à la compétition pour la lumière (en lien avec l'architecture aérienne) et des expérimentations en serre pour mesurer les caractéristiques liées à la compétition pour l'azote (en lien avec l'architecture racinaire ainsi que la demande et la valorisation de l'azote au sein de la plante).

3.2 APTITUDE A LA COMPETITION POUR LA LUMIERE

Nous avons mesuré des caractéristiques biologiques correspondant aux paramètres du module de compétition pour la lumière de FLORSYS sur 4 nouvelles variétés de pois qui se rajoutent aux 60 espèces adventices et cultivées déjà paramétrées. Ces paramètres caractérisent la morphologie des plantes en l'absence d'ombrage par des plantes voisines (Figure 1) et le changement de cette morphologie en cas d'ombrage (Figure 2). Ces résultats montrent que pour certaines caractéristiques, les 7 variétés de pois se comportent de manière identique (ex. l'allocation de biomasse aux feuilles au cours du temps) alors que pour d'autres critères, les variétés sont très différentes (ex. la capacité d'étioler en cas d'ombrage). La prochaine étape sera de relier ces paramètres difficiles à mesurer à des critères de sélection utilisés en amélioration des plantes.

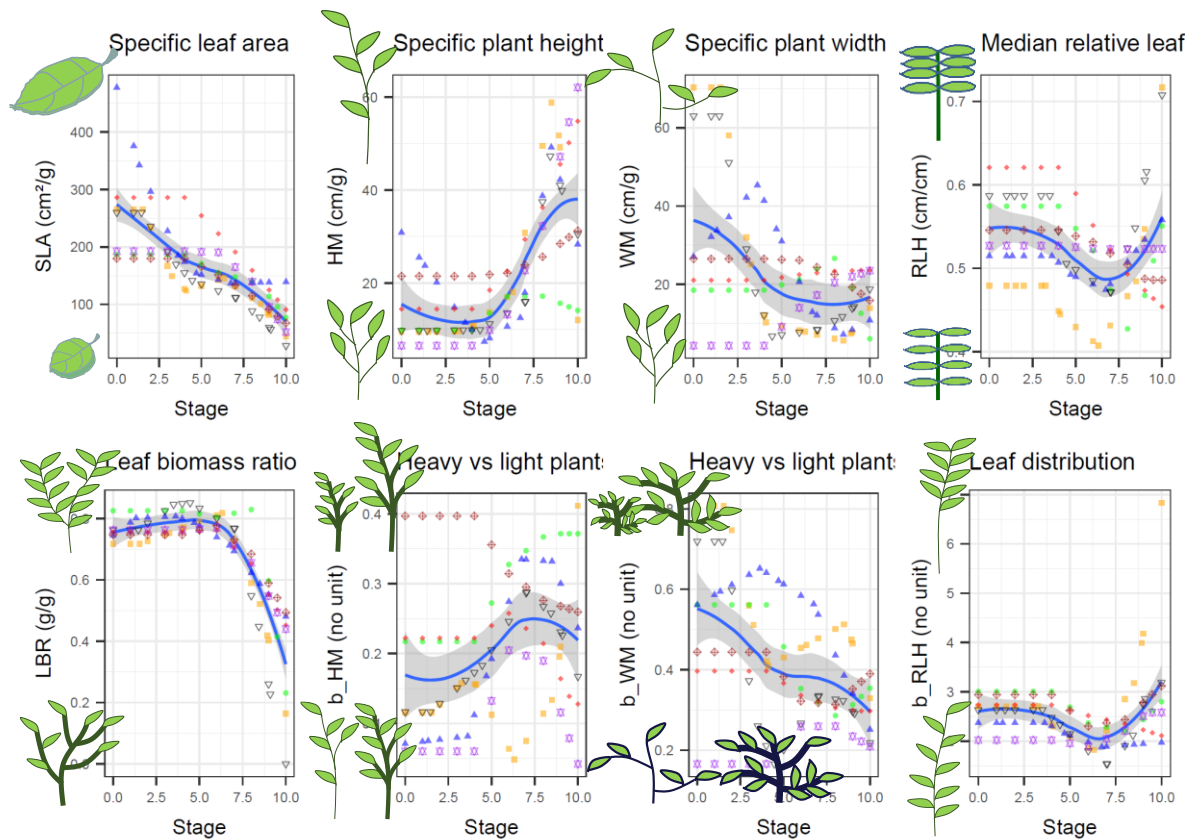


Figure 1. Morphologie en l'absence d'ombrage de 7 variétés de pois en fonction du stade des plantes mesurées en parcelles jardinées. Chaque symbole correspond à une variété. La ligne bleue montre le comportement moyen des 7 variétés. Les dessins sur l'axe vertical illustre les types et changement de morphologies (N. Colbach© 2019).

Morphology without shading for 7 pea varieties according to plant stages. Each symbol is a variety. The blue lines indicates the average behavior over the 7 varieties. Drawings on the vertical axes show morphological types and changes (N. Colbach© 2019).

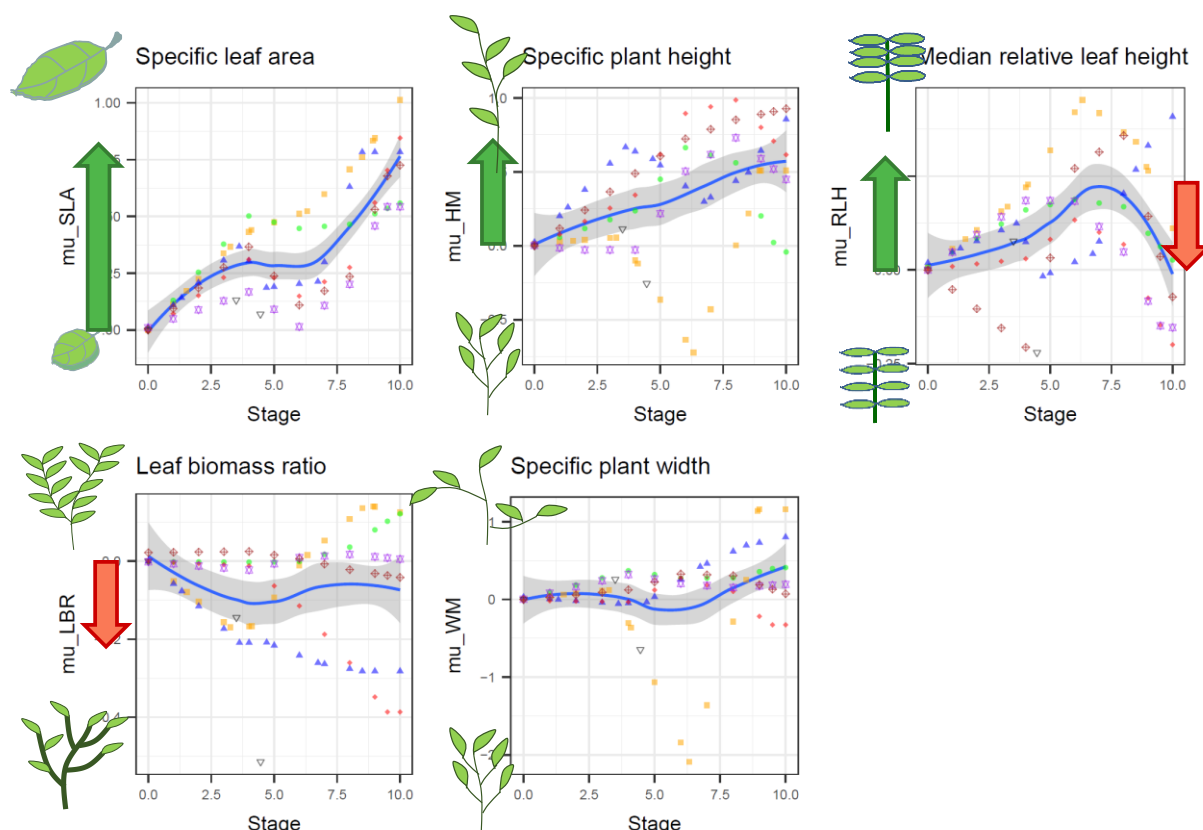


Figure 2. Réaction de la morphologie à l'ombrage de 7 variétés de pois en fonction du stade des plantes mesurées en parcelles jardinées. Chaque symbole correspond à une variété, La ligne bleue montre le comportement moyen des 7 variétés. Les dessins sur l'axe vertical illustre les types et changement de morphologies (N. Colbach© 2019).

Morphological response to shading for 7 pea varieties according to plant stage. Each symbol is a variety. The blue lines indicate the average behavior over the 7 varieties. Drawings on the vertical axes show morphological types and changes (N. Colbach© 2019).

3.3 APTITUDE A LA COMPETITION POUR L'AZOTE

Nous nous sommes intéressés à trois processus relatifs à la compétition pour l'azote :

- Architecture racinaire : Nous avons mesuré des caractéristiques biologiques correspondant aux paramètres du modèle racinaire ArchiSimple (Pagès *et al.*, 2014) qui a été intégré à FLORSYS après simplification. Ces caractéristiques concernent l'apparition des racines, leur elongation et leur ramification. Notre étude montre que ces caractéristiques racinaires prennent des valeurs très différentes selon les génotypes de pois et les espèces de légumineuses (Figure 3). Globalement, l'ampleur de la variabilité des architectures racinaires est 2 fois plus importante au niveau inter-qu'au niveau intra-spécifique.

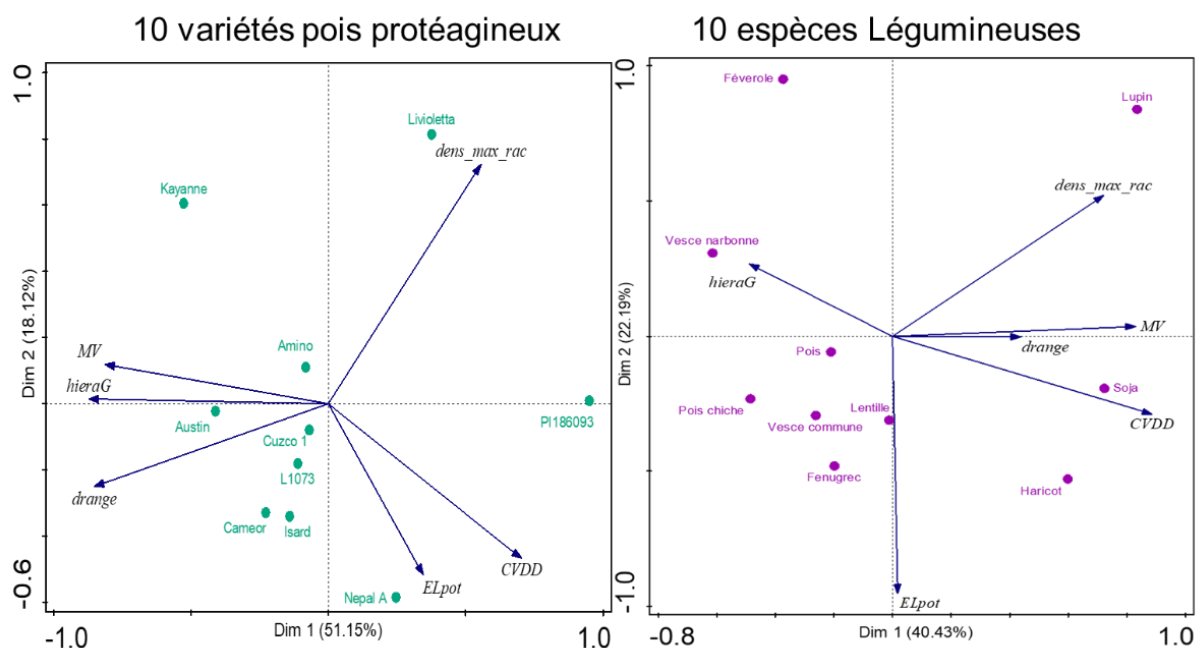


Figure 3 : Analyses en composantes principales montrant le positionnement de 10 variétés de pois (noms en vert) et de 10 espèces de légumineuses (noms en violet) en fonction des valeurs de traits racinaires (noms en noir). *dens_max_rac* pour la densité racinaire maximale, *MV* pour la masse volumique, *hieraG* pour la pente de la relation entre le diamètre des racines filles et celui des racines mères, *CVDD* pour la variabilité de cette pente, *ELpot* pour la pente de la relation entre la vitesse d'élongation racinaire et le diamètre racinaire, *drange* pour la gamme de variation des diamètres racinaires (AS. Voisin© 2019).

*Principal component analyses showing the positioning of 10 pea varieties (in green) and 10 legume species (in purple) according to root trait values (in black). *dens_max_rac* for maximal root density, *MV* volumic mass, *hieraG* for the slope of the relationship between mother and daughter root diameters, *CVDD* for the variability of this slope, *ELpot* for the slope of the relationship between root elongation rate and root diameter, *drange* for the range of variation of root diameters (AS. Voisin© 2019).*

- Demande en azote : le travail mené a montré que la demande en azote des plantes est proportionnelle à la biomasse foliaire, selon une proportion qui est peu affectée par l'environnement lumineux des plantes mais qui diffère entre espèces. Par exemple, la quantité d'azote aérienne par unité de biomasse foliaire qui est nécessaire pour que la plante soit à un niveau optimal de nutrition azotée est plus élevée pour le vulpin que pour le géranium.
- Valorisation de l'azote au sein de la plante : le travail mené a quantifié l'effet du niveau de nutrition azotée de la plante sur sa morphologie. Globalement, nous observons que plus une plante est carencée en azote, plus elle alloue de biomasse à ses racines par rapport à ses parties aériennes, plus elle alloue de biomasse à ses feuilles par rapport aux tiges et plus sa surface foliaire spécifique (biomasse foliaire/surface foliaire) augmente. Ces réponses sont plus ou moins marquées selon les espèces.

L'ensemble de ces résultats va permettre de (1) mieux connaître les ressources phytogénétiques pour optimiser leur exploitation dans des systèmes de culture multiperformants, (2) identifier des traits faciles à mesurer pour évaluer des processus complexes liés à la compétition pour les ressources, (3) analyser les corrélations entre traits pour guider le choix des idéotypes variétaux testés dans la suite du projet, (4) alimenter le modèle FLORSys pour l'utiliser en tant qu'observatoire virtuel dans la suite du projet.

4 EVALUER LA PERFORMANCE DE REGULATION DES ADVENTICES DANS LES SYSTEMES DE CULTURE

4.1 OBJECTIF ET DEMARCHE

Il s'agit d'évaluer les performances de différentes espèces de couvert à favoriser la régulation des adventices ainsi que d'autres services dans les systèmes de culture. Deux méthodes complémentaires sont mobilisées. Des expérimentations sont menées au champ pour évaluer les performances des espèces. Pour certaines d'entre elles, elles seront complétées par des simulations à l'aide de FLORSys. L'intérêt est de réaliser une évaluation sur une échelle temporelle plus longue que celle permise par l'expérimentation au champ, et avec une approche multicritère qui prend en compte non seulement la capacité des couverts à réguler les adventices mais aussi l'impact sur l'environnement (réduction de l'usage des herbicides, impact sur la biodiversité liée à la flore adventice).

4.2 EFFETS DES CARACTERISTIQUES DES COUVERTS D'INTERCULTURE SUR LA REGULATION DES ADVENTICES

L'effet des couverts d'interculture a été étudié dans le cadre d'un essai de longue durée (Alletru et Labreuche, 2019). Il a également été étudié dans une expérimentation factorielle menée à Dijon. Celle-ci montre que les couverts les plus efficaces pour concurrencer les adventices ne comprennent pas de légumineuses, mais sont composés principalement de poacées, de brassicacées ou d'autres espèces appartenant à d'autres familles. Une augmentation du nombre d'espèces dans un couvert ne permet pas de mieux concurrencer les adventices. Un apport d'azote au semis permet au couvert de produire plus de biomasse (Figure 4) mais ne permet pas d'obtenir un salissement plus faible. Même si l'irrigation peut s'avérer utile certaines années pour l'installation du couvert, lors des deux années d'essais, elle s'est avérée sans effet sur la biomasse du couvert, ni sur les adventices. Comparé à l'action du gel ou au roulage des couverts sur le gel, la destruction chimique du couvert (glyphosate) a réduit l'infestation des adventices dans la culture suivante. Les couverts ne peuvent pas à eux seuls assurer une régulation complète des adventices. En d'autres termes, il s'agit d'utiliser les couverts pour épauler d'autres pratiques permettant de limiter l'utilisation d'intrants.

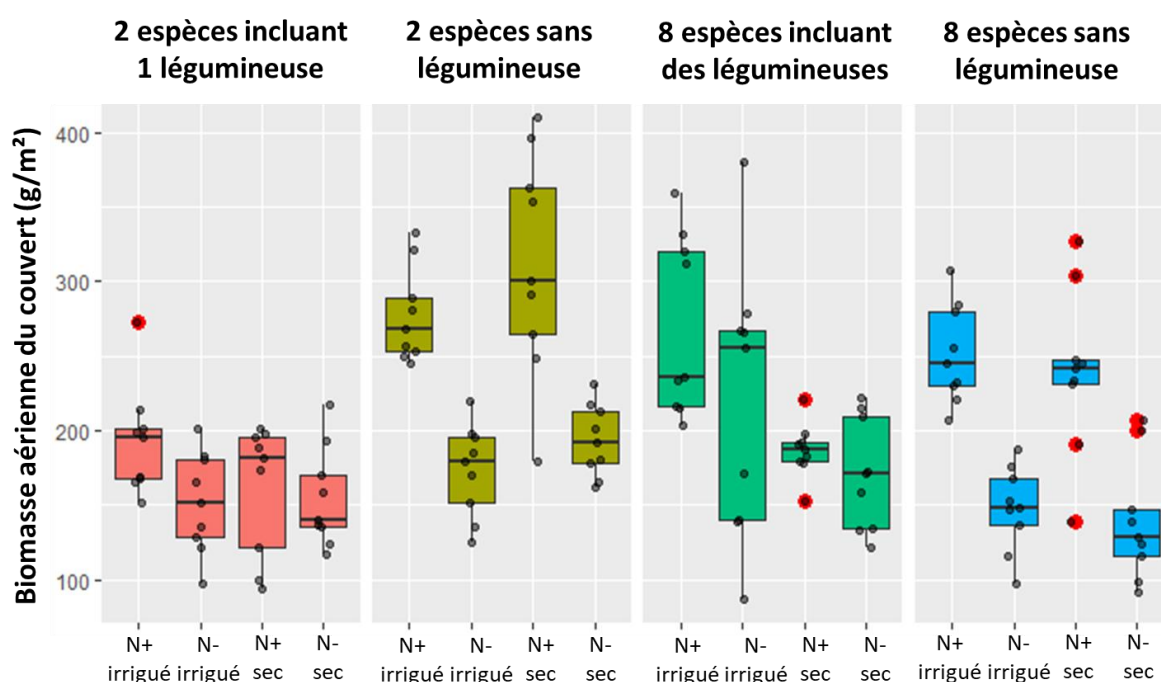


Figure 4 : Biomasse aérienne du couvert en fonction de la composition du couvert (nombre d'espèces et présence ou non de légumineuses), des ressources du sol en eau (irrigué vs. sec) et en azote (N+ vs. N-) (Stephane Cordeau © 2019)

Canopy aboveground biomass as a function of canopy composition (number of species and presence/absence of legume species), soil resources for water (irrigué vs. sec) et nitrogen (N+ vs. N-)

D'autres expérimentations de ce type sont en cours. En complément à ce travail d'expérimentation au champ, les expérimentations virtuelles avec FLORSYS sont actuellement menées.

5 IDENTIFIER DES IDEOTYPES ADAPTES A LA REGULATION DES ADVENTICES

Nous cherchons à identifier des idéotypes adaptés à la régulation biologique des adventices pour les systèmes de culture multiperformants de demain. L'approche utilise l'observatoire virtuel FLORSYS pour prédire les performances d'espèces/variétés virtuelles, définies par différentes combinaisons de caractéristiques biologiques. Pour les différents idéotypes, les performances sont évaluées selon une approche multicritère, (production agricole, impacts environnementaux et préservation de la biodiversité). L'approche adoptée et les résultats obtenus sont présentés dans Colbach et al. (2019).

6 PROMOTION DES RESULTATS AUPRES DE LA PROFESSION AGRICOLE

Il s'agit de promouvoir auprès de la profession agricole les résultats acquis dans ce projet. Cette valorisation des résultats concerne aussi bien les connaissances plus fondamentales que les connaissances plus appliquées qui seront valorisées auprès des chercheurs, étudiants, conseillers, agriculteurs et sélectionneurs. Cette tâche débute à peine puisqu'elle est dépendante des résultats obtenus par les partenaires dans les différentes actions présentées ci-dessus. La valorisation des connaissances va s'articuler autour de trois axes :

- Les communications dans des colloques, journaux techniques et revues scientifiques ainsi que dans des réseaux existants (ex : RMT Florad).
- L'enrichissement d'outils pour accompagner les agriculteurs et les conseillers (plaquettes et outils de choix des couverts d'Arvalis : www.choix-des-couverts.arvalis-infos.fr). Des réflexions sont en cours pour définir les modalités afin d'enrichir les fiches de recommandations pour le choix des couverts à partir d'expertises et de sorties du modèle FLORSYS.
- L'intégration des outils enrichis et des connaissances dans des modules de formations d'élèves ingénieurs.

Une page Internet consacrée au projet a été développée (consultable sur www.rmtflorad.org)

7 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Réguler les adventices par compétition pour les ressources par les cultures (de rente et de services) est un enjeu majeur pour des systèmes de culture plus durables. Combinant différents partenaires (institut de recherche, institut technique et semencier), ce projet vise à acquérir de nouvelles connaissances dans cet objectif. D'un point de vue méthodologique, l'approche mobilisée, utilisant un modèle de simulation comme observatoire virtuel en complément à l'évaluation au champ, est particulièrement innovante pour évaluer des espèces/variétés actuelles et pour guider la création variétale. Alors que, jusqu'à maintenant, les projets traitant de l'aptitude à la concurrence vis-à-vis des adventices se sont basés uniquement sur des expérimentations au champ, limitant la généralité des résultats obtenus, l'expérimentation virtuelle permettra d'aller plus loin dans l'évaluation. En particulier, elle permettra de tester rapidement les performances d'un grand nombre d'espèces/variétés (y compris des espèces/variétés virtuelles) sur leur aptitude à la régulation des adventices dans une large gamme de situations de productions (contextes pédoclimatiques et floristiques, mode de production). C'est grâce à cette approche que le Casdar RAID devrait pouvoir fournir des grilles de conseils pour les agriculteurs/conseillers afin de les aider dans le choix des espèces/variétés à semer en fonction de leur situation de production. Ces grilles seront également adressées aux sélectionneurs afin de les guider dans la création de nouvelles variétés concurrentielles vis-à-vis des adventices, en leur proposant des critères de sélection accessibles à la mesure.

8 REMERCIEMENTS

Le projet Casdar RAID est financé par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation, avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale 'Développement agricole et rural'. Ce projet est affilié au RMT Florad. Les travaux présentés bénéficient également de financements extérieurs, en particulier le projet ANR CoSAC (ANR-15-CE18-007), l'Inra et le Ministère de l'Enseignement supérieur,

de la Recherche et de l'Innovation.

9 BIBLIOGRAPHIE

- Alletru C., Labreuche J., 2019 - Impact du travail du sol et de la présence de couverts végétaux en interculture sur la gestion des adventices en grandes cultures. In: Végéphyt – 24e Conférence du Columa. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Orléans, France.
- Colbach N., Collard A., Guyot S. H. M., Meziere D., Munier-Jolain N., 2014 - Assessing innovative sowing patterns for integrated weed management with a 3D crop:weed competition model. *European Journal of Agronomy* 53, 74-89.
- Colbach N., Colas F., Cordeau S., Maillot T., Moreau D., Queyrel W., Villerd J., 2019 - Modéliser les couverts cultures:adventices pour étudier le rôle de la diversification des cultures dans les systèmes de culture agroécologiques. In: Végéphyt – 24e Conférence du Columa. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Orléans, France.
- Gardarin A., Durr C., Colbach N., 2012 - Modeling the dynamics and emergence of a multispecies weed seed bank with species traits. *Ecological Modelling* 240, 123-138.
- Mézière D., Colbach N., Dessaint F., Granger S., 2015 - Which cropping systems to reconcile weed-related biodiversity and crop production in arable crops? An approach with simulation-based indicators. *European Journal of Agronomy* 68, 22-37.
- 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.
- Munier-Jolain N. M., Collard A., Busset H., Guyot S. H., Colbach N., 2014 - Investigating and modelling the morphological plasticity of weeds. *Field Crops Research* 155, 90-98.
- 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.