



HAL
open science

DeciFlorSys : un outil pour accompagner les agriculteurs dans la transition agroécologique

Floriane Colas, Wilfried Queyrel, Bastien van Inghelandt, Jean Villerd,
Nathalie Colbach

► **To cite this version:**

Floriane Colas, Wilfried Queyrel, Bastien van Inghelandt, Jean Villerd, Nathalie Colbach. DeciFlorSys : un outil pour accompagner les agriculteurs dans la transition agroécologique. *Innovations Agronomiques*, 2020, 81, pp.91-100. 10.15454/tcsz-9a31 . hal-03157394

HAL Id: hal-03157394

<https://hal.inrae.fr/hal-03157394v1>

Submitted on 10 Jun 2021

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

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



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

DeciFlorSys : un outil pour accompagner les agriculteurs dans la transition agroécologique

Colas F.^{1*}, Queyrel W.¹, Van Inghelandt B.¹, Villerd J.², Colbach N.¹

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

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

* Adresse actuelle : INRAE, UMR 1048 SADAPT, F-75005 Paris,

Correspondance : nathalie.colbach@inrae.fr

Résumé

Afin de réduire l'utilisation d'herbicides, nous avons besoin de nouveaux outils pour aider à concevoir des stratégies de gestion des adventices économes en herbicides. Dans ce but, nous avons développé un Outil d'Aide à la Décision (OAD) pour accompagner la conception de systèmes de culture réconciliant protection des cultures et des écosystèmes. La démarche fait intervenir en parallèle le développement de la structure de l'outil en interaction avec les futurs utilisateurs (conseillers et agriculteurs) et une simplification du modèle de recherche FlorSys pour l'évaluation des impacts des adventices. FlorSys est une « parcelle virtuelle », où sont simulés les impacts des systèmes de culture sur la dynamique adventice à l'échelle de la parcelle. L'OAD résultant, DeciFlorSys, est composé : (1) de tableaux listant les techniques culturales les plus influentes, (2) d'arbres de décision proposant des combinaisons de pratiques culturales pour atteindre un objectif donné en terme d'impact de la flore adventice (ex. concilier faible perte de rendement et faible usage d'herbicide) et (3) d'un simulateur rapide permettant de tester, en direct sur ordinateur, de nouveaux systèmes de culture, notamment au cours d'un atelier de co-conception de systèmes de culture avec des agriculteurs.

Mots-clés : OAD, Adventice, Evaluation de système de culture, Conseiller agricole, Arbres de décision, Ateliers de co-conception, Modèle

Abstract : DeciFlorSys: a tool to support farmers for their agroecological transition

In order to reduce herbicide use, new tools are needed to accompany farmers and crop advisors designing weed management strategies that use few or no herbicides. To this end, we developed a Decision Support System (DSS) for designing cropping systems accommodating both crop and ecosystem protection. Our approach combined development of the tool structure, with future users, with the simplification of the research model FlorSys, which simulates the impact of cropping systems on crop production and weed dynamics. FlorSys is a "virtual field" where cropping-system impacts on weeds dynamics are simulated at the field scale. The resulting DSS consists of: (1) tables listing the most influential cropping techniques, (2) decision trees presenting combinations of numerous cropping practices to reach a weed management goal (e.g. combine low herbicide use with low yield loss) and (3) a fast cropping system evaluation tool to live-test cropping systems, in particular during participatory workshops co-designing cropping systems with farmers.

Keywords : DSS, Weed, Cropping system evaluation, Crop advisor, Decision trees, Co-designing workshops, Model

Introduction

Concevoir des systèmes de culture durables conciliant les enjeux économique et environnementaux est complexe. C'est d'autant plus le cas lorsque la gestion des adventices est un des objectifs majeurs, car il est alors essentiel d'envisager la conception de systèmes de culture sur le long terme (Menalled et al., 2001). Or, les experts peuvent difficilement prévoir avec précision les effets de toutes les pratiques culturales (et de leurs interactions) sur la flore adventice. En effet, la gestion économe en herbicides des adventices doit combiner des techniques curatives (chimiques, mécaniques ou thermiques) et des méthodes préventives telles que la diversification de la rotation, le travail du sol pour réduire le stock semencier, le retard de semis en automne pour éviter le pic de germination des adventices etc. (Wezel et al., 2014). De plus, les adventices sont certes nuisibles pour la production, mais elles fournissent aussi des services écosystémiques, notamment en tant que ressources alimentaires pour les abeilles ou en tant que composante de la biodiversité végétale propre aux champs cultivés (Marshall et al., 2003). Il est essentiel de prendre en compte ces services dans la gestion des adventices.

La conception de systèmes de culture est un exercice complexe, et il existe une forte demande pour des outils d'aide à la conception. Les Outils d'Aide à la Décision (OAD) pour la gestion des adventices sont divers et répondent à des besoins spécifiques : aider la reconnaissance d'espèces adventices (InfloWeb, Terres Inovia), guider le choix des traitements herbicides (DECID'herb, Munier-Jolain et al., 2005) ou guider la conception de nouveaux systèmes de culture économes en herbicides (ECOHERBI, Rodriguez et al., 2014 ; OdERA-Systèmes, Agro-Transfert Ressources et Territoires). Cependant, la gestion des adventices doit se réfléchir à l'échelle du système de culture et requiert une décision stratégique sur le long terme (GIS GC HP2E, 2011). De même, il n'existe aucun outil prenant en compte à la fois les services et disservices liés aux adventices ainsi que leurs effets sur le long terme, un prérequis pour aider à la transition agroécologique des systèmes de culture.

Ce travail s'inscrit dans le contexte du projet ANR CoSAC (2015-2019, www.projet-cosac.fr, Colbach et al., 2020) avec pour objectif le développement d'un outil simple, utile et utilisé par les acteurs, qui représente la complexité des interactions entre le système de culture et les adventices. Il est essentiel d'intégrer les futurs utilisateurs le plus tôt possible afin qu'ils apportent leur contribution pour en faire un OAD utile (Cerf et al., 2012). Il est aussi essentiel de pouvoir représenter la complexité des interactions du système de culture avec les adventices. C'est pourquoi nous avons adopté une démarche où, en parallèle, nous interagissons avec les futurs utilisateurs dès les premières étapes du développement pour déterminer le type et la structure de l'outil tout en simplifiant un modèle complexe, mais complet, issu de la recherche (Figure 1). Ce modèle est FlorSys (Gardarin et al., 2012 ; Munier-Jolain et al., 2013 ; Colbach et al., 2014) qui rassemble à ce jour le plus de connaissances issues de la recherche sur les effets des systèmes de culture et du pédoclimat sur les adventices, et les conséquences pour la production et la biodiversité. Le nouvel OAD développé dans ce projet s'appelle DeciFlorSys (Colas et al., 2020).

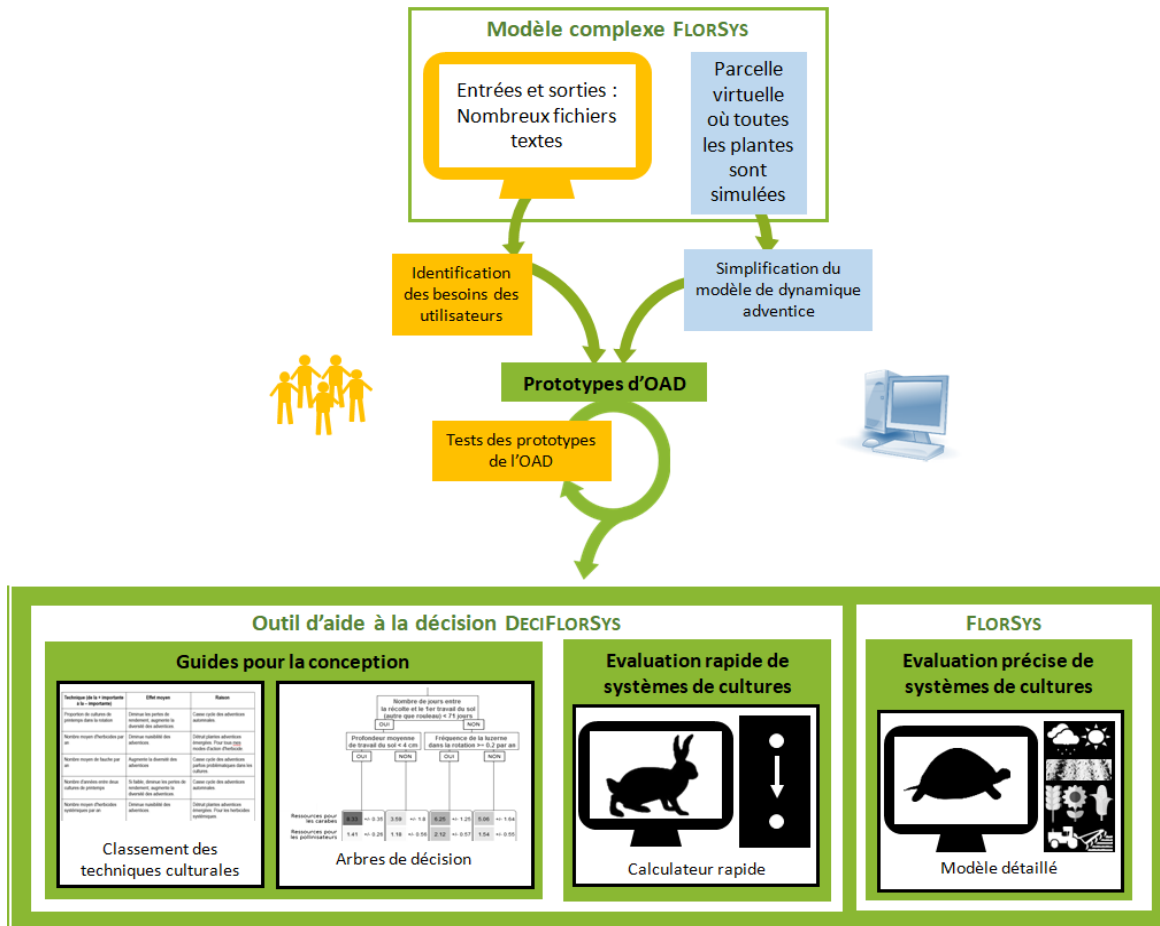


Figure 1 : Détail de l'outil d'aide à la décision (OAD) DeciFlorSys et déroulé de la conception d'un OAD à partir de la simplification d'un modèle complexe et en interaction avec les futurs utilisateurs de l'OAD.

1. Co-développement de DeciFlorSys

1.1 Co-développement avec les futurs utilisateurs

Les principaux futurs utilisateurs identifiés pour utiliser un OAD stratégique sont les agriculteurs et conseillers agricoles. Nous avons défini avec eux la structure du nouvel OAD, en premier lieu via un questionnaire en ligne adressé aux futurs utilisateurs dans toute la France. Quarante conseillers agricoles et 14 agriculteurs (6 réponses complètes) y ont répondu pour définir l'objectif de l'OAD. Notamment, ont été définies : les questions auxquelles l'outil devrait répondre, ainsi que la manière dont les utilisateurs appréhendent les stratégies de gestion à l'échelle du système de culture. Par la suite, lors de réunions avec des agriculteurs, nous avons testé différents formats de sorties possibles pour le nouvel outil, répondant à la fois aux besoins des utilisateurs et compatibles avec le fonctionnement de l'OAD. Enfin, afin de tester l'OAD dans des situations de conception de système de culture, différents ateliers avec des conseillers agricoles et/ou des agriculteurs ont été organisés.

Le premier atelier, mobilisant des conseillers agricoles en Champagne, a été organisé afin de continuer à tester la structure, en proposant différents formats et demandant aux conseillers de classer les formats par ordre de préférence. Ensuite, un atelier de co-conception de systèmes de culture avec des agriculteurs a été organisé, en Champagne pour tester l'utilisation combinée de DeciFlorSys avec le jeu de plateau Mission Ecophyt'eau® (Civam du Haut-Bocage et RAD, 2016). Parmi les systèmes actuels pratiqués par les agriculteurs participants à l'atelier, un système de culture de référence, problématique pour un agriculteur, a été défini. À partir de ce système de référence, les agriculteurs ont proposé

plusieurs systèmes alternatifs qui ont été évalués avec DeciFlorSys. Ces ateliers avaient pour but, en plus d'aider des agriculteurs à concevoir des systèmes de culture, d'améliorer l'ergonomie de l'outil notamment en identifiant le format préféré de sortie et en ajoutant des entrées plus parlantes pour les utilisateurs.

1.2 Simplification du modèle de recherche FlorSys

1.2.1 Le modèle FlorSys

FlorSys est un modèle reproduisant une « parcelle virtuelle », où sont simulés les impacts du système de culture sur la phénologie, la croissance et la dynamique des cultures et des adventices à l'échelle de la parcelle et en fonction du pédoclimat, ainsi que les conséquences pour la production et la biodiversité. FlorSys est complexe car il prédit chaque jour : la densité des semences viables, dormantes et germées; la densité, la position, la biomasse et le stade des plantes émergées, ainsi que la production de graines. Afin de simplifier ces nombreuses sorties, des indicateurs d'impact de la flore adventice ont été développés avec des agriculteurs, des experts en écologie et par la recherche bibliographique (Mézière et al., 2015 ; Colbach et al., 2017). Il y a deux types d'indicateurs d'impact de la flore adventice : (1) des indicateurs pour estimer la nuisibilité directe et indirecte des adventices pour la production agricole : la perte de rendement due aux adventices, les problèmes lors de la récolte en cas de "bourrage" de la moissonneuse-batteuse par des adventices immatures, le salissement de la parcelle qui est un problème plus sociologique car considéré comme un problème d'image auprès des autres agriculteurs, l'IFT herbicide ou le risque de piétin échaudage ou d'orobanche rameuse ; (2) des indicateurs pour estimer les services écosystémiques comme la contribution des adventices aux ressources trophiques des oiseaux, des carabes granivores et des pollinisateurs, ou la biodiversité végétale avec la richesse en espèce adventices différentes ou l'équitabilité de distribution de ces espèces.

Le modèle FlorSys a été évalué avec des données indépendantes provenant d'observations sur le terrain dans différentes régions de France. L'évaluation a montré que le modèle est efficace pour comparer des systèmes de culture entre eux. FlorSys peut tester virtuellement des systèmes de culture très détaillés. C'est un modèle de recherche, requérant de nombreux fichiers d'entrée et relativement lent à utiliser. Par exemple, une simulation « standard » sur 30 ans avec 10 répétitions climatiques, en demandant l'ensemble des fichiers de sortie avec un pas-de-temps journalier, prend entre 6 et 20 h suivant les systèmes de culture avec un ordinateur performant.

1.2.2 Simplification du modèle FlorSys

En l'état, FlorSys est difficilement utilisable comme outil d'aide à la décision, du moins lors de l'atelier participatif. Au lieu de créer un nouvel OAD de toutes pièces, nous avons utilisé FlorSys comme un réseau de parcelles virtuelles pour simuler plusieurs milliers de systèmes de culture. Ces systèmes de culture simulés correspondent à : (1) des systèmes de culture existant issus d'enquêtes en exploitation agricole, du réseau Biovigilance-Flore, du réseau DEPHY-FERME, d'essais systèmes de culture et d'experts, (2) des systèmes extrêmes, sans herbicides ou sans travail du sol, et (3) des systèmes de culture aléatoires pour rechercher l'innovation inattendue. Au total, 4102 systèmes ont été simulés sur 30 ans, afin de capter les effets à long terme. Ils ont été répétés avec 10 séries climatiques différentes afin d'évaluer la robustesse des systèmes face aux aléas climatiques.

En guise d'entrées pour décrire plus simplement le système de culture, DeciFlorSys utilise des méta-règles de décision, par exemple : la proportion des cultures de printemps dans la rotation ou la fréquence de travail du sol. Parmi les nombreuses sorties fournies par FlorSys, seuls les indicateurs de service ou de (dis)services de la flore adventice sont retenus. Pour lier ces sorties aux entrées, des méthodes de fouille de données ont été utilisées. La fouille de donnée permet, dans un ensemble de données d'origines

variées, d'extraire, de quantifier et de synthétiser ces données. Deux méthodes complémentaires ont été utilisées : (1) des arbres de classification et régression (CART, Breiman et al., 1984) permettent de classer les systèmes de culture entre eux et de quantifier leurs performances en termes de (dis)services des adventices. Les arbres permettent également d'identifier les combinaisons de pratiques ayant de l'effet sur les (dis)services. Ensuite, (2) une forêt aléatoire (Breiman, 2001), c'est-à-dire un ensemble d'arbres de régression, a été construite pour prédire rapidement quantitativement les valeurs de ces (dis)services en fonction des systèmes de culture. Ce calculateur rapide a été évalué avec des données indépendantes du réseau DEPHY montrant que l'OAD permet, comme FlorSys, de classer correctement les systèmes de culture entre eux.

Un avantage supplémentaire à ces méthodes de fouille de données est qu'elles peuvent être mises en œuvre sous R et donc être hébergées dans une application web R-shiny (Chang et al., 2017) rendant le calculateur rapide de DeciFlorSys accessible facilement sur internet.

2. Composition de DeciFlorSys et exemples d'utilisation

2.1 Structure de DeciFlorSys grâce aux utilisateurs

Deux types de besoins sont ressortis de l'enquête en ligne auprès de futurs utilisateurs (les conseillers agricoles et les agriculteurs) correspondant à deux modes de description des systèmes de culture dans l'OAD (Figure 1). Un premier type d'outil recherché vise la conception de nouveaux systèmes de culture, en décrivant un système de culture à une échelle pluriannuelle sur la base de méta-règles de décision. Le second type d'outil recherché vise à aider à ajuster finement un système de culture. Ce deuxième type d'outil doit décrire de façon complète le système de culture, via une liste d'opérations détaillée. Les conseillers agricoles et les agriculteurs ont classé tous les indicateurs proposés par FlorSys en sortie pour leur intérêt pour l'évaluation de système de culture (Colas et al., 2020). Les indicateurs de (dis)services des adventices ont été qualifiés comme étant les plus intéressants, principalement les indicateurs évaluant la nuisibilité des adventices pour la production agricole, en termes de quantité et qualité. Les indicateurs d'évaluation des impacts environnementaux (comme la contribution des adventices à réduire la lixiviation de l'azote dans le sol) ou des critères liés à la biodiversité (comme la présence de ressources alimentaires pour les carabes ou les abeilles) sont aussi qualifiés d'intéressants, mais dans une moindre mesure. Sur la base de ces retours, l'OAD devra être composé de deux outils : (1) un outil de diagnostic détaillé correspondant à FlorSys et (2) le nouvel outil issu de la simplification de FlorSys, appelé DeciFlorSys, pour guider les utilisateurs dans la conception de nouveaux systèmes de culture à partir de méta-règles de décision, pour modifier et combiner les techniques culturales et connaître les performances des systèmes de culture. Les deux outils proposent, en sortie, l'ensemble des indicateurs de (dis)services des adventices afin que les utilisateurs puissent composer un bouquet de critères d'évaluation correspondant au mieux à leurs objectifs et contraintes.

2.2 Les différents éléments de DeciFlorSys et leur utilisation

2.2.1 Guide des techniques culturales

Le guide des techniques culturales (Tableau 1) propose un classement des techniques basé sur l'effet global sur les indicateurs de (dis)services des adventices. Il est complété par des informations issues de l'analyse des variables d'état (décrivant les couverts, les semences, le sol...) simulées par FlorSys pour expliquer les raisons de ces effets. Ainsi, il aide à choisir les techniques à modifier en premier pour maximiser l'effet sur les adventices. Les techniques sont décrites sous forme de méta-règles de décision correspondant à une description synthétique du type de système de culture. Ce classement dépend de la combinaison des (dis)services de la flore adventice retenus par l'utilisateur ainsi que de sa situation de production.

Tableau 1 : Guide pour aider à la conception sous forme d'un tableau classant les techniques culturales ayant le plus fort effet sur un bouquet de (dis)services des adventices. Seules les cinq premières lignes sont montrées ici.

Technique (de la + importante à la – importante)	Effet moyen sur le système de culture	Explication biologique
Proportion de cultures de printemps dans la rotation	Diminue les pertes de rendement, augmente la diversité des adventices.	Casse le cycle des adventices automnales.
Nombre moyen d'herbicides par an (tous modes d'action confondus)	Diminue la nuisibilité des adventices.	Détruit les plantes adventices.
Nombre moyen de fauches par an	Augmente la diversité des adventices	Détruit les adventices les plus grandes, souvent les plus problématiques.
Nombre d'années entre deux cultures de printemps	Augmente les pertes de rendement, diminue la diversité des adventices.	Favorise les adventices automnales.
Nombre moyen d'herbicides systémiques par an	Diminue la nuisibilité des adventices.	Détruit les plantes adventices émergées, y compris à faible dose.

2.2.2 Arbres de décision

Les arbres de décision de DeciFlorSys (Figure 2) permettent de répondre à la question "quelles combinaisons de pratiques pour atteindre l'objectif X ?", pour une situation de production donnée et un bouquet de (dis)services des adventices. Ces arbres de décision sont composés de branches combinant différentes méta-règles de décision et menant à des « feuilles » correspondant à différentes performances en termes d'indicateurs de (dis)services des adventices choisis par l'utilisateur. Ces feuilles regroupent un ensemble de systèmes de culture aux performances similaires.

Dans le cadre d'un atelier de conception de systèmes de culture (SdC) avec un groupe d'agriculteurs localisés dans la Champagne humide, l'arbre de décision de la Figure 2 a été utilisé comme guide. Les indicateurs de l'arbre sont ceux choisis par la conseillère agricole du groupe d'agriculteurs, c'est-à-dire trois indicateurs de disservices des adventices (perte de rendement, pollution des récoltes et salissement du champ), deux indicateurs de services (ressources trophiques pour abeilles et carabes) et l'usage herbicide (IFT herbicide). Dans cet exemple, les « feuilles » SdC B et SdC C correspondent à des combinaisons de pratiques similaires, c'est-à-dire : un nombre moyen de travail du sol total supérieur ou égal à 1.9 opérations par an en moyenne sur la rotation, mais inférieur à 0.95 entre octobre et mars, des traitements herbicides dans les 3 mois qui suivent le semis, et un premier travail du sol au plus tôt 18 jours après la récolte. Dans cette situation, le décalage entre le dernier travail du sol et le semis de la culture de rente est déterminant pour diminuer la nuisibilité des adventices sans trop affecter la biodiversité. En effet, pour passer de la feuille SdC B à la feuille SdC C, il faut éviter de travailler le sol pendant les 48 jours précédant le semis. Cependant, ce changement va de pair avec une forte augmentation de l'intensité d'usage herbicide (IFT herbicide).

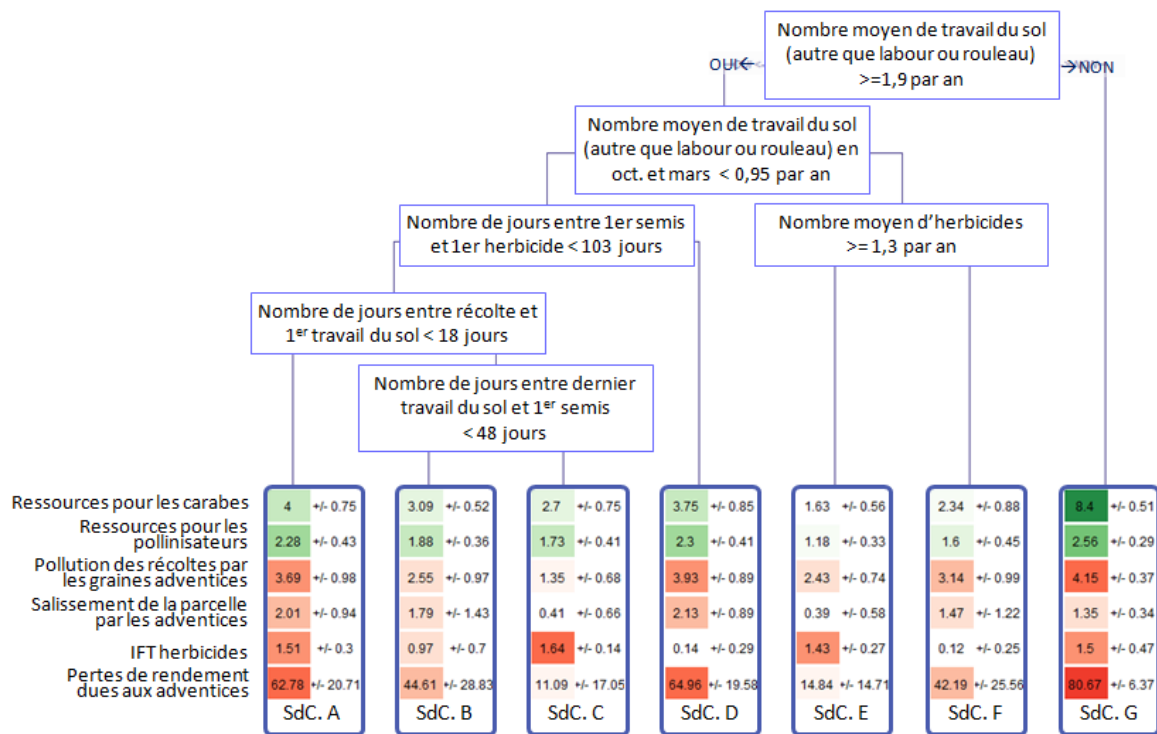


Figure 2 : Guide pour aider à la conception sous forme d'arbre de décision, issu des simulations de FlorSys, pour la situation de production Champagne humide. Les "feuilles" en bas de l'arbre constituent les performances-cible en termes de (dis)services des adventices choisies par l'utilisateur. Les « branches » constituent des combinaisons de pratiques culturales qui mènent aux feuilles. L'arbre peut se lire de haut en bas ("que se passe-t-il si...") ou de bas en haut ("que faut-il faire pour obtenir...").

2.2.3 Simulateur rapide

DeciFlorSys comprend également un calculateur évaluant en moins d'une seconde un nouveau système de culture en termes de (dis)services des adventices à partir des méta-règles de décision. La rapidité du calcul est essentielle pour modifier successivement les valeurs des méta-règles et ainsi de s'approcher des objectifs recherchés. Par exemple, les résultats du Tableau 2 sont issus de l'évaluation de systèmes de culture avec le calculateur rapide lors d'un atelier de conception de systèmes de culture économes en herbicides avec des agriculteurs. Le prototype P proposé par les agriculteurs était meilleur que le système de référence actuel, sauf pour les indicateurs de biodiversité ; ressources alimentaires pour les carabes et les abeilles. Pendant l'atelier, les agriculteurs ont suggéré des alternatives qui ont été évaluées en direct, comme le sans labour ou le remplacement du tournesol par de la luzerne. L'utilisation des luzernes améliore la biodiversité par rapport au système de référence et au prototype (avec et sans labour), mais augmente la pollution de la récolte. Le labour diminue légèrement la nuisibilité des adventices sans modifier la biodiversité.

Ce dernier résultat peut surprendre. Il pourrait s'expliquer par la version du calculateur utilisé pendant l'atelier, construit à partir d'une base de données simulées comprenant peu de systèmes en semi-direct/sans labour. Pour identifier le domaine de validité du calculateur, une nouvelle base de systèmes de culture a été constituée, et les indicateurs de (dis)services ont été simulés d'une part avec FlorSys (considérés comme "vérité terrain") et d'autre part calculés avec DeciFlorSys ("prédiction"). La comparaison de ces prédictions à la "vérité terrain" a montré que globalement DeciFlorSys classe bien les systèmes de culture en fonction de leurs performances (coefficients de Pearson variant de 0.37 pour

la pollution de la récolte, à 0.59 pour l'intensité d'utilisation d'herbicides). La seule exception est la perte de rendement (coefficient de Pearson de 0.08), ce qui s'explique en partie par la structure de la base de systèmes de culture. En effet, la base d'apprentissage servant à construire DeciFlorSys comprend des systèmes de culture aléatoires dont certains, très irréalistes, ne permettent pas la maturation des cultures. L'évaluation a ainsi permis d'identifier des pistes d'amélioration de l'outil, en termes de situations insuffisamment explorées ou agronomiquement irréalistes.

Tableau 2 : Évaluation de l'impact de la flore adventice sur la biodiversité et la production agricole de systèmes de culture conçus par des agriculteurs en atelier participatif, en utilisant le calculateur rapide de DeciFlorSys. Les cellules de chaque colonne sont colorées du rouge, pour le pire résultat de production agricole (forte nuisibilité), au blanc (faible nuisibilité) et du vert, pour le meilleur résultat pour la biodiversité (fortes ressources trophiques), au blanc (faible ressources trophiques).

Système de culture (cultures de printemps en italique, légumineuses soulignées)	Perte de rendement	Pollution de la récolte	Salissement de la parcelle	Carabes	Abeilles
Référence (<i>colza/blé/blé/orge</i>)	46.21	2.84	1.53	4.61	1.6
Prototype (P) [§] avec labour	31.6	2.34	1.04	4.6	1.59
Prototype (P) [§] sans labour	37.57	2.55	1.23	4.66	1.62
Prototype (P) [§] luzerne à la place du tournesol	21.55	3.42	1.06	5.66	2.32

[§] Colza + lentilles + féverole / blé tendre / couvert gélif puis *orge* / colza opportuniste + pois fourrager / *tournesol* + trèfle blanc nain / blé tendre / orge

3. Discussion et conclusion

Les interactions avec les futurs utilisateurs, combinées à de la fouille de donnée, sont la richesse de ce développement d'OAD. Cette démarche en parallèle permet le meilleur compromis entre les demandes des utilisateurs et les connaissances accumulées et structurées via la modélisation mécaniste basée sur des processus biophysiques. Les contributions des futurs utilisateurs étaient indispensables pour déterminer puis améliorer la structure de l'outil. Bien qu'étant fonctionnel, DeciFlorSys est encore au stade de prototype et l'interface doit encore être travaillée pour en faciliter l'utilisation. Ce travail vient de démarrer (projets Plant2Pro DECIFLORSYS 2020-2021 et Ecophyto COPRAA 2021-2023) et propose notamment d'améliorer la description des systèmes de culture pour se rapprocher du processus de prise de décision des agriculteurs et ordonner logiquement les techniques comme dans d'autres modèles de prise de décision (ex. irrigation du foin, Merot et al., 2008).

Les utilisateurs déjà rencontrés ont aussi suggéré de nouveaux descripteurs des systèmes de culture. Certaines de ces suggestions ont déjà été intégrées, notamment le nombre d'opérations de travail du sol effectuées avec différents outils (par exemple, une bineuse), pour évaluer s'il est pertinent d'investir dans

de nouveaux outils. D'autres propositions des utilisateurs visent au contraire à simplifier les entrées, en remplaçant par exemple la saisie d'une date de semis par des choix plus simples comme "semis tardif" ou "semis précoce". Ces demandes n'ont pas encore pu être prises en compte puisqu'il faut alors transformer une information qualitative ("semis précoce") en une variable quantitative compréhensible par DeciFlorSys (une date calendaire), en tenant compte des spécificités des cultures et des régions (un semis précoce de blé en Bourgogne ne correspond pas à la même date qu'un semis précoce de blé en Bretagne).

Au final, DeciFlorSys est composé de guides de conception et d'un évaluateur rapide de systèmes de culture synthétiques. Pour évaluer de façon détaillée les systèmes de culture, le modèle complexe FlorSys est la meilleure solution. Les différents outils présentés ici n'espèrent pas apporter la valeur exacte pour ses indicateurs, par exemple le rendement ou des ressources pour les abeilles, mais ont pour but de comparer les performances des systèmes de culture entre eux afin d'être un support de discussion le plus objectif possible et de prise de décision. En effet, ces outils accompagnent le processus de conception, en permettant de prendre du recul sur les prototypes, en facilitant les discussions entre participants et en permettant l'association à la réflexion du savoir expert des conseillers et des agriculteurs (Van Inghelandt et al., 2019). En plus du travail d'ergonomie et d'interfaçage qui est en cours, un travail pour faciliter l'articulation entre les outils et à quel moment les utiliser dans les ateliers de conception de système de culture est encore nécessaire.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les agriculteurs et les conseillers agricoles de Picardie, de Champagne, ainsi que l'agence SAGEBA, de la compagnie de conseil PERI-G, du GRCETA de l'Aube et du GDA de Brienne pour avoir participé aux réunions et ateliers. Le travail a été financé par l'INRA (les départements EA et MIA), le projet ANR CoSAC (ANR-14-CE18-0007) et la région Bourgogne.

Références bibliographiques

- Agro-Transfert Ressources et Territoires, OdERA-Systèmes, <http://www.odera-systemes.org/>
- Breiman L., Friedman J.H., Stone C.J., Olshen R.A., 1984. Classification and Regression Trees. CRC Press, New York.
- Breiman L., 2001. Random Forests. Machine Learning 45(1) 5-32.
- 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 (4), 899-910, DOI: 10.1007/s13593-012-0091-z
- Chang W., Cheng J., Allaire J., Xie Y., McPherson J., 2017. Shiny: Web Application Framework for R, R package version 1.0.3 ed.
- Civam du Haut-Bocage et Réseau Agriculture Durable, 2016, Mission Ecophyt'Eau®, <http://www.agriculture-durable.org/ressources/mission-ecophyteau/>
- Colas F., Cordeau S., Granger S., Jeuffroy M.-H., Pointurier O., Queyrel W., Rodriguez A., Villerd J., Colbach N., 2020. Co-development of a decision support system for integrated weed management: Contribution from future users. European Journal of Agronomy, 114, DOI: 10.1016/j.eja.2020.126010.
- Colbach N., Bockstaller C., Colas F., Gibot-Leclerc S., Moreau D., Pointurier O., Villerd J., 2017. Assessing broomrape risk due to weeds in cropping systems with an indicator linked to a simulation model. Ecological Indicators, 82, 280-292, DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.05.070
- Colbach N., Collard A., Guyot S., 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, DOI: 10.1016/j.eja.2013.09.019

- Colbach N., Moreau D., Angevin F., Rodriguez A., Métails P., Vuillemin F., 2020. Conception de Stratégies durables de gestion des Adventices dans un contexte de Changement : le projet CoSAC. Phloème - 2ème Biennales de l'innovation céréalière. Paris, France: 50-60.
- 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, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2012.05.004
- GIS GC-HP2E, 2011. Journée de Réflexion sur la création d'OAD pour la profession agricole (13.12.2011).
- Marshall E.J.P., Brown V.K., Boatman N.D., Lutman P.J.W., Squire G.R., Ward L.K., 2003. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Research* 43, 77–89. DOI: 10.1046/j.1365-3180.2003.00326.x
- Menalled F.D., Gross K.L., Hammond M., 2001. Weed above ground and seedbank community responses to agricultural management systems. *Ecological Applications* 11, 1586–1601. DOI: 10.1890/1051-0761(2001)011[1586:WAASCR]2.0.CO;2
- Merot A., Bergez J.-E., Capillon A., Wéry J., 2008. Analysing farming practices to develop a numerical, operational model of farmers' decision-making processes. *Agricultural Systems*, 98 (2), 108-118, DOI: 10.1016/j.agsy.2008.05.001
- Meziere D., Petit S., Granger S., Biju-Duval L., Colbach N., 2015. Developing a set of simulation-based indicators to assess harmfulness and contribution to biodiversity of weed communities in cropping systems. *Ecological Indicators*, 48 (0), 157-170, DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.07.028
- Munier-Jolain N., Guyot S., Colbach N., 2013. A 3D model for light interception in heterogeneous crop:weed canopies: Model structure and evaluation. *Ecological Modelling*, 250, 101 - 110, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2012.10.023
- Munier-Jolain N., Savoie V., Kubiak P., Maillet-Mézeray J., Jouy L., Quéré L., 2005. DECID'Herb, a decision support system on the WEB, designed for sustainable weed management in cultivated fields, 13th International EWRS Symposium: Bari, Italy.
- Rodriguez, A., Vuillemin F., Brun F., 2014. Guide ECOHERBI : des systèmes de culture pour réduire les herbicides, In: (2014-2015), A.L.R.d.l.d.f.a.e.v. (Ed.).
- Terres Inovia, Acta, Agrosup Dijon, Arvalis, Fnams, Inra, Itab, Itb, Infloweb - Connaître et gérer la flore adventice, <http://www.infloweb.fr/>
- Van Inghelandt B., Queyrel W., Cavan N., Colas F., Guyot B., Colbach N., 2019. Combiner expertise et modèles en ateliers de co-conception de systèmes de culture pour une gestion durable des adventices: apports méthodologiques et perspectives. Présenté au Séminaire CoSAC « Gestion des adventices dans un contexte de changement » Paris, France, pp. 39–41.
- Wezel A., Casagrande M., Celette F., Vian J.-F., Ferrer A., Peigné J., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34, 1–20, DOI: 10.1007/s13593-013-0180-7

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).