

Outil d'aide à la décision dérivé FLORSYS

Guide d'utilisation DECIFLORSYS

Morgane Bieslin¹, Nathalie Colbach¹ & Jean Villerd²

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

²LAE, INRAE, Université de Lorraine, Vandœuvre, France

L'objectif du guide d'utilisation est de présenter ce qu'est DECIFLORSYS, pourquoi l'utiliser, comment il fonctionne et sur quoi il est basé. Construit sur la base de simulations réalisées par FlorSys, ce modèle de recherche sera également présenté.

Ce guide comporte aussi une partie Foire Aux Questions (FAQ) en cours de construction. Il est disponible sur le [site web de DeciFlorSys](#) et via la page d'accueil de l'interface.

Pour toute question, contacter : Florsys-team@inrae.fr

Table des matières

1	Introduction	4
1.1	Qu'est-ce que DeciFlorSys ?	4
1.2	Principe de fonctionnement	4
1.3	Domaine de validité	5
2	Fonctionnement de DeciFlorSys	5
2.1	Indicateurs de DeciFlorSys : les critères d'évaluation du système de culture	5
2.1.1	À quoi servent ces indicateurs et comment les choisir ?	5
2.1.2	Quels sont les indicateurs d'évaluation disponibles ?	6
2.1.3	Comment sont construits ces indicateurs ?	7
2.1.4	Pour en savoir plus	8
2.2	Contexte pédoclimatique	8
2.2.1	Pourquoi renseigner le contexte pédoclimatique ?	8
2.2.2	Descripteurs du climat	9
2.2.3	Descripteurs du sol	9
2.2.4	Flore adventice	10
2.3	Saisie du système de culture	11
2.3.1	À quoi vont servir les informations saisies ?	11
2.3.2	La saisie de la rotation et des itinéraires techniques	11
2.3.3	Visualisation et modification des opérations saisies sur la frise temporelle	12
2.3.4	Sauvegarder le système saisi ou charger un système sauvegardé	13
2.4	Transformation en descripteurs synthétiques du système de culture	13
2.4.1	À quoi servent les descripteurs du système ?	13
2.4.2	Comment lire le tableau des indicateurs	14
2.4.3	Identification de pistes pour la reconception	14
2.5	Reconception du système	15
2.5.1	Affichage sous forme de frise temporelle	15
2.5.2	Modifier le système initial pour atteindre le profil cible	15
2.5.3	Évaluation précise des systèmes de culture initial et reconçu	15
3	Un mot sur les sauvegardes, chargements etc.	18
4	Le fonctionnement du champ cultivé	18
4.1	Les adventices	18
4.1.1	Un cycle de vie commun	18
4.1.2	De la semence à la plantule	19
4.1.3	De la plantule à la semence	21
4.1.4	Interaction avec le système de culture	23

4.2	Comment gérer les adventices ?.....	23
4.2.1	Les opérations culturales produisent différentes perturbations.....	23
4.2.2	Diversifier pour mieux gérer.....	24
4.2.3	Combiner les techniques de gestion.....	25
4.3	Pour en savoir plus.....	25
5	Comment a été créé DeciFlorSys (pour les curieux).....	25
5.1	Le principe.....	25
5.2	La "parcelle expérimentale virtuelle" FlorSys.....	27
5.2.1	Résumé.....	27
5.2.2	Les variables d'entrée.....	27
5.2.3	Le cycle de vie des adventices et des cultures.....	28
5.2.4	Les espèces utilisées pour construire DeciFlorSys.....	30
5.2.5	Effet des techniques culturales.....	31
5.2.6	Des critères d'évaluation conçus avec les acteurs et inspirés de l'écologie des communautés.....	31
5.2.7	Domaine de validité.....	32
5.2.8	Pour en savoir plus:.....	32
5.3	Le plan expérimental.....	32
5.4	Modèles statistiques	32
5.4.1	Arbre de décision : arbre aléatoire	32
5.4.2	Comparaison de système reconçu : Forêt aléatoire	32
5.5	Pour en savoir plus.....	33
5.5.1	En français.....	33
5.5.2	En anglais.....	33
6	FAQ.....	33
6.1	J'ai un problème avec une adventice en particulier mais DeciFlorSys ne me demande pas la flore, que faire ?.....	33
6.2	Y a-t-il une estimation du rendement dans DeciFlorSys ?.....	33
6.3	Y a-t-il des indicateurs économiques dans DeciFlorSys ?.....	33
7	Références citées dans ce document.....	34

1 Introduction

1.1 Qu'est-ce que DeciFlorSys ?

DECIFLORSYS est un outil d'aide à la conception de stratégies de gestion agroécologiques de la flore adventice. Il s'adresse à un public divers : conseillers, animateurs, facilitateurs etc. voulant l'utiliser avec des agriculteurs, en groupe ou en individuel, enseignants de lycées agricoles ou d'école d'agronomie pour travailler avec leurs étudiants, mais aussi agriculteurs ou expérimentateurs voulant travailler en autonomie. L'objectif peut être :

- Pédagogique : pour améliorer les connaissances sur le fonctionnement et l'impact des adventices dans les agroécosystèmes.
- Opérationnel : pour accompagner différents acteurs dans la reconception de systèmes de culture, notamment pour réconcilier production agricole et réduction d'usage d'herbicides.

L'outil comporte un calculateur permettant d'évaluer la performance des systèmes de culture proposés par l'utilisateur, en termes de services (ex. biodiversité) et dysservices (ex. perte de rendement) fournis par les adventices. À contrario, ce n'est pas un outil tactique permettant de déterminer quand réaliser une opération culturale précise.

DECIFLORSYS a été construit sur la base de simulations faites avec un modèle mécaniste, FLORSYS. Ce modèle simule la croissance, le développement, la reproduction et le devenir des semences de la flore adventices et des espèces cultivées dans une parcelle virtuelle, à partir du système de culture et des caractéristiques du sol et du climat (Chapitre [5.2](#)). Ce modèle de recherche est basé sur les processus biologiques, physiques et chimiques qui déterminent le fonctionnement du champ cultivé (Chapitre [4](#)).

1.2 Principe de fonctionnement

L'interface de DECIFLORSYS comporte les étapes suivantes :

1. Définition des objectifs de son système de culture en termes d'impact de la flore adventice sur la production agricole et la biodiversité, en sélectionnant des indicateurs de nuisibilité des adventices pour la production (ex. perte de rendement) et de contribution à la biodiversité (ex. offre trophique pour oiseaux). Ces combinaisons d'indicateurs sont appelées des profils de performance (Chapitre [2.1](#)).
2. Détermination du contexte pédoclimatique, en désignant le département où se trouve le système étudié. DECIFLORSYS nécessite des données climats et sols (Chapitre [2.2](#)).

Les étapes 1 et 2 détermineront quelles informations DECIFLORSYS demandera et présentera dans les étapes suivantes.

3. Saisie du système de culture initial à l'aide d'une frise temporelle à compléter. Toutes les cultures et opérations de la rotation sont à renseigner ici (Chapitre [2.3](#)).
4. Les informations saisies et détaillées dans la frise sont synthétisées sous forme de descripteurs de systèmes de culture similaires à des méta-règles de décision (ex. Proportion de cultures de printemps dans la rotation, nombre de travaux du sol par an). (Chapitre [2.4](#)).
5. Saisie d'un système de culture alternatif à partir des informations et conclusions tirées de l'étape précédente. Le système initial et le système alternatif sont alors évalués en temps réel à l'aide du calculateur de DECIFLORSYS qui estime les valeurs précises de chaque indicateur choisi à l'étape 1 (Chapitre [2.5](#)).

1.3 Domaine de validité

DECIFLORSYS a été construit à partir d'un grand nombre de systèmes de cultures pour être le plus précis possible (Chapitre 5.3). Cependant, dû aux limites du modèle FLORSYS sur lequel il est basé, ainsi que les caractéristiques des systèmes de culture qui ont servi à sa création (Chapitre 5.2), DECIFLORSYS ne peut pas être valide dans toutes les conditions. Le tableau suivant détaille son domaine de validité :

Tableau 1. Domaine de validité de DeciFlorSys, avec le type d'erreur possible si l'outil est utilisé hors de son domaine de validité théorique

	Inclus	Limites	Conséquences pour les (dys)services liés aux adventices
Région	Tempéré	Déficit hydrique post-levée	Surestime les espèces sensibles à la sécheresse, sous-estime la perte de rendement
Systèmes de culture	Grandes cultures	Fertilisation azotée insuffisante	Surestime les espèces nitrophiles, sous-estime la perte de rendement
		Système en agriculture de conservation du sol (semis direct et pas de travail du sol)	Surestime les semences adventices à la surface du sol
Adventices	Annuelles des grandes cultures, flore typique de la région	Vivaces	Sous-estime les adventices vivaces
		Repousses de culture	Sous-estime les adventices dans les rotations avec des cultures perdant des graines (ex. colza)

2 Fonctionnement de DECIFLORSYS

2.1 Indicateurs de DeciFlorSys : les critères d'évaluation du système de culture

2.1.1 À quoi servent ces indicateurs et comment les choisir ?

DECIFLORSYS utilise une série d'indicateurs d'impact de la flore adventice sur la production agricole et la biodiversité pour évaluer les systèmes de culture. La première étape de l'utilisation de DECIFLORSYS est de sélectionner un bouquet d'indicateurs ou plusieurs indicateurs de manière individuelle dans l'onglet *Objectifs* (Figure 1). Ce sont sur ces indicateurs que se basera l'évaluation du système de référence et des systèmes alternatifs.

Figure 1. Capture d'écran de l'onglet Objectifs de DeciFlorSys servant à saisir les indicateurs d'impact de la flore adventice sur la production agricole et la biodiversité qui serviront à évaluer le système de référence et les systèmes alternatifs.

2.1.2 Quels sont les indicateurs d'évaluation disponibles ?

Les indicateurs de dysservices des adventices (nuisibilité pour la production agricole) ont été développés avec des agriculteurs et des agronomes. Ils estiment le contrôle de :

- la nuisibilité directe des adventices sur la production agricole : perte de rendement due aux adventices, et pollution de la récolte par des semences et débris d'adventices (rend la récolte invendable en filière "production de semences", réduit la durée de stockage de la récolte).
- les soucis techniques : problèmes lors de la récolte en cas de biomasse adventice qui bloque la moissonneuse-batteuse et ralentissent ainsi les chantiers.
- le salissement de la parcelle pendant la culture de rente (ou inculture), qui peut conduire l'agriculteur à intervenir, même en l'absence de perte de rendement, pour ne pas être considéré comme incompetent par ses pairs.

Les indicateurs de services écosystémiques liés aux adventices (contribution à la biodiversité) ont été développés avec des écologues. Ils évaluent la contribution des adventices à :

- la biodiversité fonctionnelle via la contribution des adventices aux ressources trophiques des oiseaux, des carabes granivores et des abeilles domestiques.
- la biodiversité végétale sauvage, avec la richesse spécifique et l'équitabilité de la flore adventice.

Ces indicateurs sont sous forme de notes allant de 0 (forte nuisibilité / faible biodiversité observée) à 1 (faible nuisibilité / forte biodiversité observée). La note de 0 correspond à la pire situation dans tous les systèmes de culture testés lors de la construction de l'outil (Chapitre 5), tandis que la note de 1 correspond à la meilleure situation.

2.1.3 Comment sont construits ces indicateurs ?

Les tableaux 2 et 3 présentent le principe de calcul des indicateurs d'impact de la flore adventice, originalement à partir de variables d'état de la flore adventice simulée par FLORSYS (Chapitre 5.2). Les indicateurs sont d'abord calculés pour une campagne culturale (de la récolte du précédent jusqu'à la récolte suivante) puis moyennés sur la rotation (Mézière et al., 2015).

Tableau 2. Indicateurs de nuisibilité de la flore adventice pour la production agricole

Indicateur	Description	Mode de calcul
Production		
Perte de rendement	Perte de rendement en grains due à la compétition pour la lumière entre cultures et adventices (%)	Différence de rendement en grains (t/ha) entre simulations avec et sans adventices
Contamination de récolte	Présence de semences et débris adventices parmi les grains cultivés récoltés (sans unité), non calculé pour récoltes de fourrages & racines	Quantité de semences et biomasse aérienne des adventices récoltée par la moissonneuse-batteuse, pondérée, pour chaque espèce adventice, par un coefficient reflétant la difficulté de trier ces semences et débris pour l'espèce en question, relativement à la biomasse de graines cultivées récoltées
Chantier de récolte		
Ralentissement des chantiers de récolte	Bourrage de la moissonneuse-batteuse par la biomasse adventice verte (sans unité)	Quantité de biomasse aérienne des adventices dépassant la hauteur de la barre de coupe de la moissonneuse batteuse le jour de la récolte, relativement à la biomasse de la culture au-dessus de la barre de coupe
Perception de l'agriculteur		
Salissement du champ	Flore adventice visible en culture, indépendamment de son impact sur la culture ($t \cdot ha^{-1} \cdot jour^{-1}$)	Moyenne de la biomasse adventice aérienne, entre le semis et la récolte de la culture de rente

Tableau 3. Indicateurs de la contribution des adventices à la biodiversité

Indicateur	Description	Mode de calcul
Biodiversité végétale sauvage		
Richesse spécifique	Nombre d'espèces adventices présentes [0, 25]	Nombre d'espèces adventices présentes au moins une fois pendant la campagne culturale
Équitabilité de la flore	Indice de l'équitabilité de Pielou, allant de 0 (une espèce unique) à 1 (toutes les espèces présentes avec la même abondance)	Ratio de l'indice de Shannon de la communauté relativement à la valeur de Shannon pour une abondance identique de chaque espèce adventice, en utilisant la densité de plantes par m^2 moyennée sur la campagne culturale de chaque espèce
Biodiversité fonctionnelle: ressources trophiques pour des organismes non-nuisibles		
Oiseaux	Semences adventices importantes pour le régime alimentaire des oiseaux, à la surface du sol entre 1 ^{er} octobre et 15 mars	Densité de semences par m^2 à la surface du sol pondérée par un coefficient reflétant l'importance de l'espèce adventice pour le régime alimentaire des oiseaux, cumulée sur toutes les espèces de la flore, et en moyenne entre 1 ^{er} octobre et 15 mars
Carabes granivores	Semences adventices riches en lipides, à la surface du sol entre 1 ^{er} avril et 1 ^{er} octobre	Densité de semences par m^2 à la surface du sol pondérée par la teneur en lipides des semences de l'espèce adventice, cumulée sur toutes les espèces de la flore, et en moyenne entre 1 ^{er} avril et 1 ^{er} octobre
Abeilles domestiques	Fleurs adventices à forte valeur pollinique ouvertes entre 1 ^{er} mars et 1 ^{er} novembre	Densité de fleurs par m^2 à la surface du sol pondérée par la valeur pollinique de l'espèce adventice, cumulée sur toutes les espèces de la flore, et en moyenne entre 1 ^{er} mars et 1 ^{er} novembre

2.1.4 Pour en savoir plus...

Mézière, D., Petit, S., Granger, S., Biju-Duval, L., and 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, 157-170. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.07.028>.

2.2 Contexte pédoclimatique

2.2.1 Pourquoi renseigner le contexte pédoclimatique ?

Dans l'onglet *Contexte pédoclimatique*, DECIFLORSYS demandera de renseigner le département étudié. En effet, l'outil a besoin de la localisation de la parcelle afin de déterminer les variables climatiques et proposer des valeurs par défaut concernant les paramètres sols. Ces informations serviront à calculer les descripteurs du climat (Chapitre 2.2.2) et les descripteurs du sol (Chapitre 2.2.3).

DECIFLORSYS ne demande pas de renseigner la flore adventice du champ mais part d'une flore adventice typique de la région (Chapitre 2.2.4).

DeciFlorSys nécessite des informations climatiques et pédologiques. Veuillez renseigner le département étudié.

Côte-d'Or

Evapotranspiration moyenne en été (mm)	349.507692307692
Evapotranspiration moyenne en printemps-été (mm)	552.916923076923
Evapotranspiration moyenne en printemps (mm)	203.409230769231
Nombre de jours à moins de 0°C	7
Précipitation moyenne annuelle (mm)	790.841538461538
Précipitation moyenne en automne (mm)	217.944615384615
Précipitation moyenne en hiver (mm)	184.415384615385
Rayonnement moyen en été (J/cm²)	166955.296923077

Showing 1 to 8 of 15 entries Previous 1 2 Next

Les valeurs proposées ci-dessous correspondent à de valeurs par défaut selon le département choisi. Modifiez ces valeurs si elles ne correspondent pas à votre situation.

Valeurs par défaut extraites de "Information sur les mailles SAFRAN" et de la BDAT.

Profondeur du sol (cm): 77

Capacité au champ (%): 37

Taux de cailloux (%): 50

Triangle de texture

Valeurs estimées:
Argile = 34.6808510638288
Limon = 48.936170212766
Sable = 16.3829787234043

Signification des abréviations:
ALO = Argile lourde
A = Argile
AL = Argile limoneuse
AS = Argile sableuse
LA = Limon argileux
LAS = Limon argilo-sableux
LSA = Limon sablo-argileux
SA = Sable argileux
LM = Limon moyen
LMS = Limon moyen sableux
LS = Limon sableux
SL = Sable limoneux
S = Sable
LL = Limon léger
LLS = Limon léger sableux

Validier

Figure 2. Capture d'écran de l'onglet *Contexte pédoclimatique* de DECIFLORSYS servant à renseigner le département où sont mis en place le système de culture de référence et le système alternatif.

2.2.2 Descripteurs du climat

Les variables climatiques utilisées par DECIFLORSYS sont calculées à partir des données SAFRAN (Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige – Météo France). Les données climatiques délivrées par SAFRAN sont des données journalières de réanalyse à la maille Safran (8 km x 8 km, à l'échelle de la France entière, environ 9000 mailles) à partir des observations locales réalisées quotidiennement à l'intérieur des mailles. Cette base est mise à jour chaque année.

Le tableau 4 liste les descripteurs de climats calculés par DECIFLORSYS dans l'onglet *Contexte pédoclimatique*. Les descripteurs qui seront utilisés ultérieurement dépendent des choix d'indicateurs faits par l'utilisateur dans l'onglet *Objectifs* (Chapitre 2.1), ainsi que de la localisation sur la carte.

Tableau 4. Liste des descripteurs de climat calculés par DECIFLORSYS dans l'onglet *Contexte pédoclimatique*.

Code descripteur	Description	Unité
ETP moy ete	Evapotranspiration moyenne en été	mm
ETP moy PE	Evapotranspiration moyenne au printemps et en été	mm
ETP moy printemps	Evapotranspiration moyenne au printemps	mm
nb j froids	Nombre de jours avec température moyenne inférieure à 0°C	/
pluvio moy an	Pluviométrie moyenne annuelle	mm
pluvio moy automne	Pluviométrie moyenne en automne	mm
pluvio moy hiver	Pluviométrie moyenne en hiver	mm
radiation moy ete	Radiation solaire moyenne en été	J/cm ²
radiation moy PE	Radiation solaire moyenne au printemps et en été	J/cm ²
radiation_moy_printemps	Radiation solaire moyenne au printemps	J/cm ²
temperature max automne	Moyenne de la température journalières maximum en automne	°C
temperature_min_AH	Moyenne de la température journalières minimum en automne et en hiver	°C
temperature min automne	Moyenne de la température journalières minimum en automne	°C
temperature moy automne	Moyenne des températures journalières en automne	°C
temperature moy an	Moyenne des températures journalières annuelle	°C

2.2.3 Descripteurs du sol

Afin de faciliter le renseignement des informations demandées dans cet onglet, une composition de sol par défaut est proposée lorsqu'un département est choisi sur la carte. Les données ayant servis à déterminer cette composition proviennent de [la BDAT](#) (Base de Données d'Analyses de Terres). La BDAT regroupe au total 31 paramètres permettant d'évaluer les propriétés physico-chimiques des sols ainsi que leur texture.

De la même manière, des valeurs par défaut correspondant à une moyenne sur le département pour les variables « *profondeur du sol* » et « *capacité au champ* » seront proposées. Ces informations proviennent d'une base de données « Informations sur les mailles SAFRAN » disponible via l'[Agroclim Dataverse](#). Il s'agit d'un fichier regroupant plusieurs attributs rattachés à la maille SAFRAN, dont des attributs géographiques (coordonnées et altitudes), un découpage administratif et des données d'occupation du sol provenant de Corine Land Cover (2012) ainsi que des données de sol de la Base de Données Géographique des Sols de France à l'échelle du 1/1000000 (BDGSF).

Seuls la variable « *taux de cailloux* » est à renseigner par l'utilisateur. Les valeurs de « *profondeur du sol* » et « *capacité au champ* » peuvent tout de même être changé, ainsi que la composition des sols peut

être modifié à l'aide du triangle des textures (Figure 2) afin de mieux représenter le sol de l'exploitation étudiée.

Tableau 5. Liste des descripteurs de sol demandés par DECIFLORSYS dans l'onglet *Contexte pédoclimatique*.

Variable décrivant le sol de la parcelle	Unité
Teneur en cailloux dans le sol	% [0, 100]
Capacité de rétention d'eau du sol	% [0, 100]
Profondeur du sol	cm
Composition du sol (Argile, Sable et Limon)	/

2.2.4 Flore adventice

DECIFLORSYS ne demande pas de renseigner la flore adventice du champ mais part d'une flore adventice typique de la région (Chapitre 5), composée de 25 espèces annuelles contrastées, couvrant différentes périodes de levée, de compétitivité face aux cultures et d'importance pour la biodiversité. Les abondances relatives des espèces varient en fonction des régions.

Ces 25 espèces jouent le rôle d'espèces modèles, à la fois en termes de réponse aux pratiques culturales et d'impact sur la production agricole et la biodiversité. Suivant les régions, les adventices localement dominantes ne font pas nécessairement partie des espèces-modèles de DECIFLORSYS. Ce n'est pas un problème puisque DECIFLORSYS n'a pas vocation à prédire la dynamique ou l'abondance de telle ou telle espèce adventice mais plutôt l'impact d'une communauté adventice sur la production agricole et la biodiversité. Le rôle qu'auraient joué les espèces manquantes dans DECIFLORSYS est ainsi repris par d'autres espèces ayant des comportements et impacts similaires.

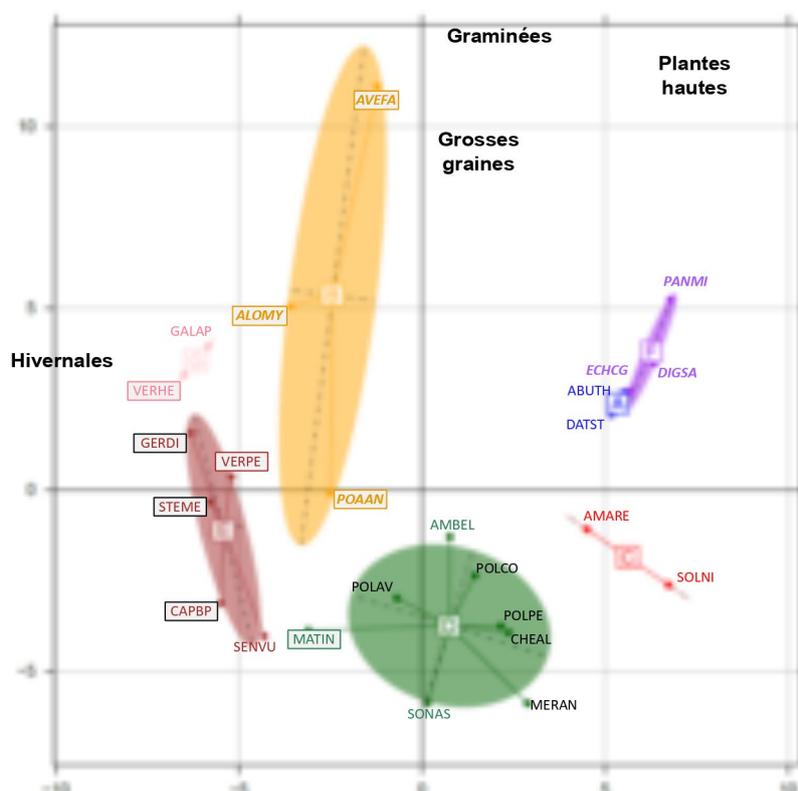


Figure 3. Groupes d'espèces basés sur une Analyse en Composante Principales des paramètres décrivant la réponse et l'effet des espèces adventices dans la parcelle virtuelle FlorSys à l'origine de DeciFlorSys.

La figure 3 présente les types d'adventices considérées lors de la construction de DECIFLORSYS (Chapitre 5) et les espèces adventices représentatives. Les espèces sont renseignées ici par leur code EPPO (Tableau 7 pour les noms d'espèces correspondants), avec les graminées en gras italiques, et les hivernales encadrées. Les groupes B et F sont composées de graminées hivernales et printanières / estivales, respectivement. Les groupes B, E et G sont essentiellement composées d'hivernales. Les espèces à grosses graines et/ou plantes hautes sont plutôt dans le carré supérieur droit.

2.3 Saisie du système de culture

2.3.1 À quoi vont servir les informations saisies ?

Pour saisir le système de culture, il faut entrer les cultures de rente (annuelles ou pluriannuelles) de la rotation, avec les éventuels couverts d'interculture qui les précèdent, ainsi que les différentes opérations culturales pour leur gestion. Ces informations sont utilisées pour calculer les descripteurs du système de culture (Chapitre 2.4).

2.3.2 La saisie de la rotation et des itinéraires techniques

La saisie est découpée en périodes de culture, correspondant chacune à un itinéraire technique. Une période est l'intervalle de temps entre la récolte de la culture précédente et la récolte de la culture de la période. Pour ajouter une période de culture, il faut appuyer sur le bouton « *Ajouter une période* » (Numéro 1 sur la Figure 4). Il est possible de changer de période active en cliquant sur le bouton de la période à sélectionner.

Pour chaque période, cultures et opérations doivent être renseignées. Pour cela, il faut choisir l'onglet correspondant, remplir les différentes informations demandées et cliquer sur le bouton « *Ajouter une opération [...]* » (Numéro 2 sur la Figure 4). Les dates n'ont pas besoin d'être précises au jour près car DECIFLORSYS est construit de façon à prendre en compte la variabilité climatique. Pour faciliter la saisie chronologique des opérations pour les périodes successives, les dates sont saisies et affichées sous forme de JJMMAAAA, avec AAAA des années du type 2020, 2021 etc. Cependant, le résultat serait le même en saisissant le système de culture sur les années 1, 2 etc ou 1640, 1641 etc.

DeciFlorSys

Renseignez votre système de culture à l'aide des onglets de saisie et de la frise.

Sauvegarder le système initial: Sauvegarder... N°4

Charger un système initial: Charger... S1_Deciflorsys_2024-08-23_presentation.c Upload complete

Vider la frise et effacer les données: Vider la frise

Ajouter une période de culture: N°1

Période 1 Période 2 Période 3

Culture Travail du sol Fauche Broyage Ecimage Désherbage mécanique Fertilisation minérale Fertilisation organique Paillage Irrigation

Herbicides Fongicides Insecticides

Date de l'opération: 07-08-2024

Outil utilisé: Disques

Vitesse (km/h): 9

Largeur entre socs (cm): 0

Profondeur rasettes (cm): 0

Profondeur de travail (cm): 5

Proportion de surface travaillée [0-1]: 1

Largeur rasettes (cm): 0

Modifier l'élément sélectionné N°3

Ajouter une opération de travail du sol N°2

Frise

Culture: Colza : NA, Blé tendre : Orvants, Orge (hiver) : NA

Travail sol: Disques : 5 cm

Fauche

Broyage/Ecimage

Désherbage mécanique

Fertilisation: Ferti min : 80 kgN/ha, Ferti min : 20 kgN/ha, Ferti min : 40 kgN/ha, Ferti min : 60 kgN/ha, Ferti min : 50 kgN/ha, Ferti min : 70 kgN/ha, Ferti min : 50 kgN/ha

Paillage

Irrigation

Produit phytosanitaire: KATANA 2.5 l/ha, KATANA 1.25 l/ha, KATANA 1.5 l/ha, KATANA 25 g/ha, KATANA 1.5 l/ha, KATANA 1.8 l/ha, Fongicide : 0.5 l/ha, KATANA 0.6 l/ha, Fongicide : 0.4 l/ha, Fongicide : 0.4 l/ha, Fongicide : 0.4 l/ha, Fongicide : 0.6 l/ha, KATANA 0.6 l/ha, Fongicide : 0.5 l/ha

juil. 2024, oct., janv. 2025, avr., juil., oct., janv. 2026, avr., juil., oct., janv. 2027, avr., juil.

Figure 4. Capture d'écran de l'onglet Système initial de DeciFlorSys servant à saisir les composantes du système de culture de référence à évaluer par DeciFlorSys.

2.3.3 Visualisation et modification des opérations saisies sur la frise temporelle

Vous pouvez visualiser ce que vous avez saisi sur la frise (Frise sur la Figure 4). En sélectionnant un élément (culture ou opération entrée sur la frise), l'onglet de saisie correspondant se met à jour afin de rappeler le détail de la sélection.

Il est possible de modifier les informations préalablement entrées en corrigeant la caractéristique voulue dans l'onglet ainsi affiché, puis en cliquant sur le bouton « *Modifier l'élément sélectionné* » (Numéro 3 sur la Figure 4) pour que le changement soit pris en compte dans la frise. Pour modifier la date, il est également possible de simplement faire glisser l'élément le long de la frise. Pour le supprimer, cliquer sur la croix rouge s'affichant à sa droite après sélection.

Pour dupliquer une opération, par exemple une intervention présentant les mêmes caractéristiques avec une répétition sur plusieurs dates, sélectionner l'opération à dupliquer et modifier la date avant de cliquer sur le bouton « *Ajouter une opération [...]* ».

2.3.4 Sauvegarder le système saisi ou charger un système sauvegardé

Grâce aux boutons situés au-dessus de la frise (Numéro 4 sur la Figure 4), il est possible de sauvegarder le contenu de la frise, de charger un système préalablement sauvegardé (Chapitre 3), ainsi que de vider la frise.

2.4 Transformation en descripteurs synthétiques du système de culture

2.4.1 À quoi servent les descripteurs du système ?

Les descripteurs du système de culture sont obtenus suite à la synthèse des informations entrées dans la frise dans l'onglet *Système initial* (Chapitre 2.3). Ils sont explicités dans le tableau [lien vers DescripteursSDC.xls \(à venir\)](#). Un échantillon de ce tableau est présenté sous la forme du tableau 6.

Ces descripteurs, assimilables à des méta-règles de décision, permettront dans un premier temps de comparer le système saisi en termes des indicateurs d'évaluation choisis dans l'onglet *Objectifs* (Chapitre 2.1) à tous les systèmes de culture disponibles pour le pédoclimat saisi dans l'onglet *Contexte pédoclimatique* (Chapitre 2.2). Ensuite, ils serviront à dégager des pistes pour reconcevoir ce système de culture dans l'onglet *Évaluation* (Chapitre 2.4).

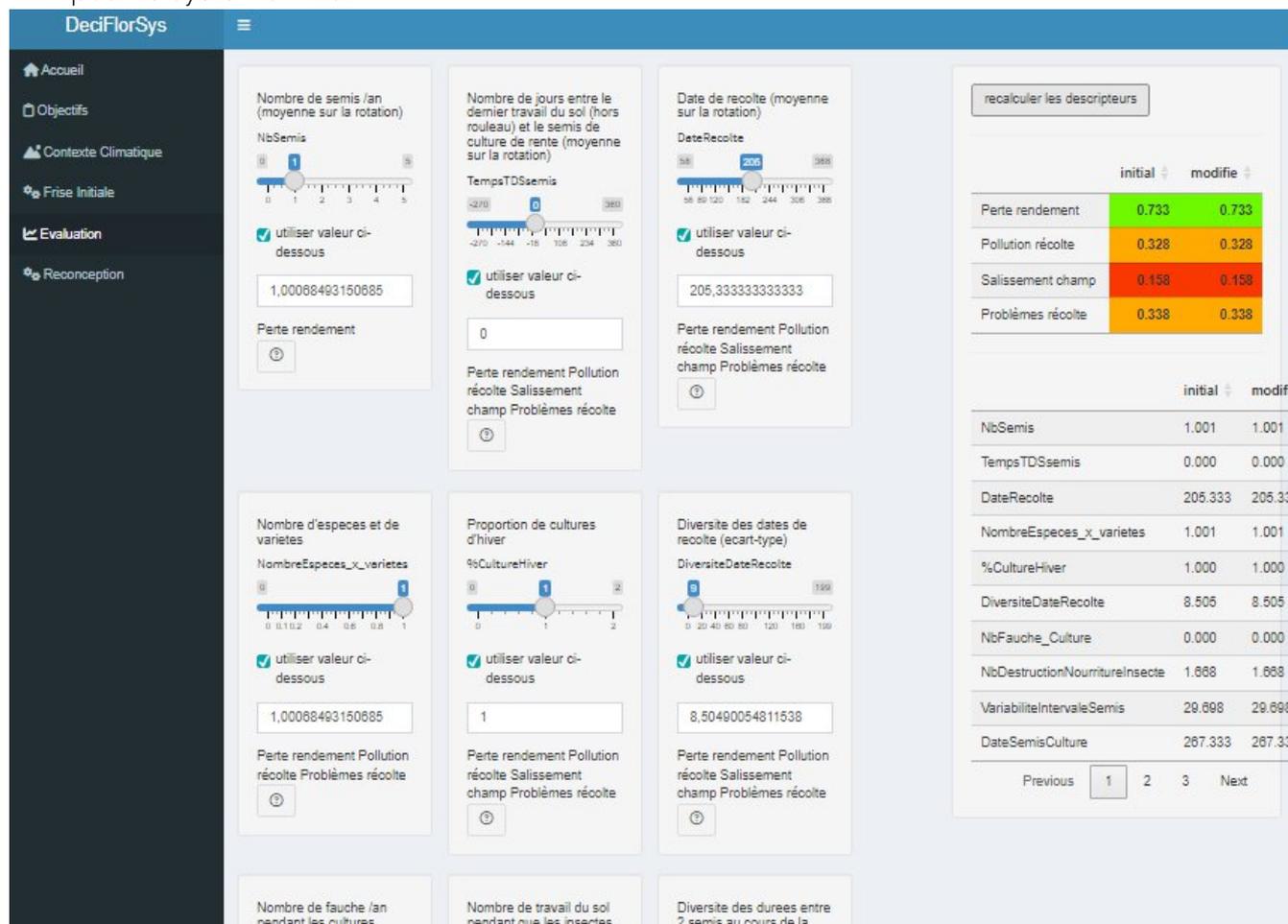
Tableau 6 . Exemple de descripteurs de système de culture calculés par DECIFLORSYS à partir de la saisie dans les onglets *Système initial* et *Système alternatif*.

Code descripteur	Description	Calculé à partir de	Pourquoi une augmentation du descripteur	
			↘ nuisibilité des adventices	↗ nuisibilité des adventices
ProfondeurMaxTDS	Profondeur maximale du travail du sol de la rotation	Toutes les opérations de travail du sol de la rotation	↗ enfouissement des semences adventices, ce qui ↘ germination/levée des adventices	↗ remontée de semences adventices et ↗ germination/levée de semences adventices déterrées
TempsRécolteTDS	Nombre de jours entre la précédente récolte et le premier travail du sol (moyenne sur la rotation)	Dates de récolte et dates des premiers travaux du sol de toutes les cultures	↗ probabilité d'imbibition des semences adventices fraîches à la surface du sol par de la pluie, ce qui ↗ efficacité du faux semis	↗ durée de survie / croissance / reproduction des adventices estivales, ↘ fréquence de faux semis, ↗ risque que les germinations stimulées lèvent après le semis de la culture de rente
TempsTDSsemis	Nombre de jours entre le dernier travail du sol (hors rouleau) et le semis de culture de rente (moyenne sur la rotation)	Dates de semis et dates des derniers travaux du sol de toutes les cultures	↘ risque que les germinations stimulées lèvent après le semis de la culture de rente	↗ temps pour les adventices de ré-infester le champ entre le travail du sol nettoyant le champ et le semis de la culture de rente
NbDésherbageMéca	Nombre de désherbage mécanique /an (moyenne sur la rotation)	Toutes les opérations de désherbage mécanique de la rotation	Détruit les adventices en cultures de rente	Déclenche des germinations / levées tardives en cultures de rente

2.4.2 Comment lire le tableau des indicateurs

Le tableau sur la droite de la Figure 5 donne les notes des indicateurs d'impact de la flore adventice sur la production agricole et la biodiversité que l'utilisateur a choisi dans l'onglet *Objectifs* (Chapitre 2.1). Sous la forme de notes allant de 0 à 1 (de la pire à la meilleure situation), les cellules sont colorées respectivement du rouge au vert.

Figure 5. Capture d'écran de l'onglet *Évaluation* de DeciFlorSys montrant les descripteurs impactant les indicateurs sélectionnés à l'onglet *Objectifs*, ainsi que la note de ces derniers pour le système initial.



Pour chaque indicateur, les dix descripteurs les plus impactant ont été déterminés et s'affichent sur cette page. Un même descripteurs pouvant décrire un ou plusieurs indicateurs, des étiquettes sont fournies pour chacun afin d'aider à l'évaluation.

Les boutons d'aide se trouvant sous chaque descripteurs renvoient les informations concernant l'impact de l'évolution de ces derniers sur la flore adventices et ses nuisibilités ou avantages.

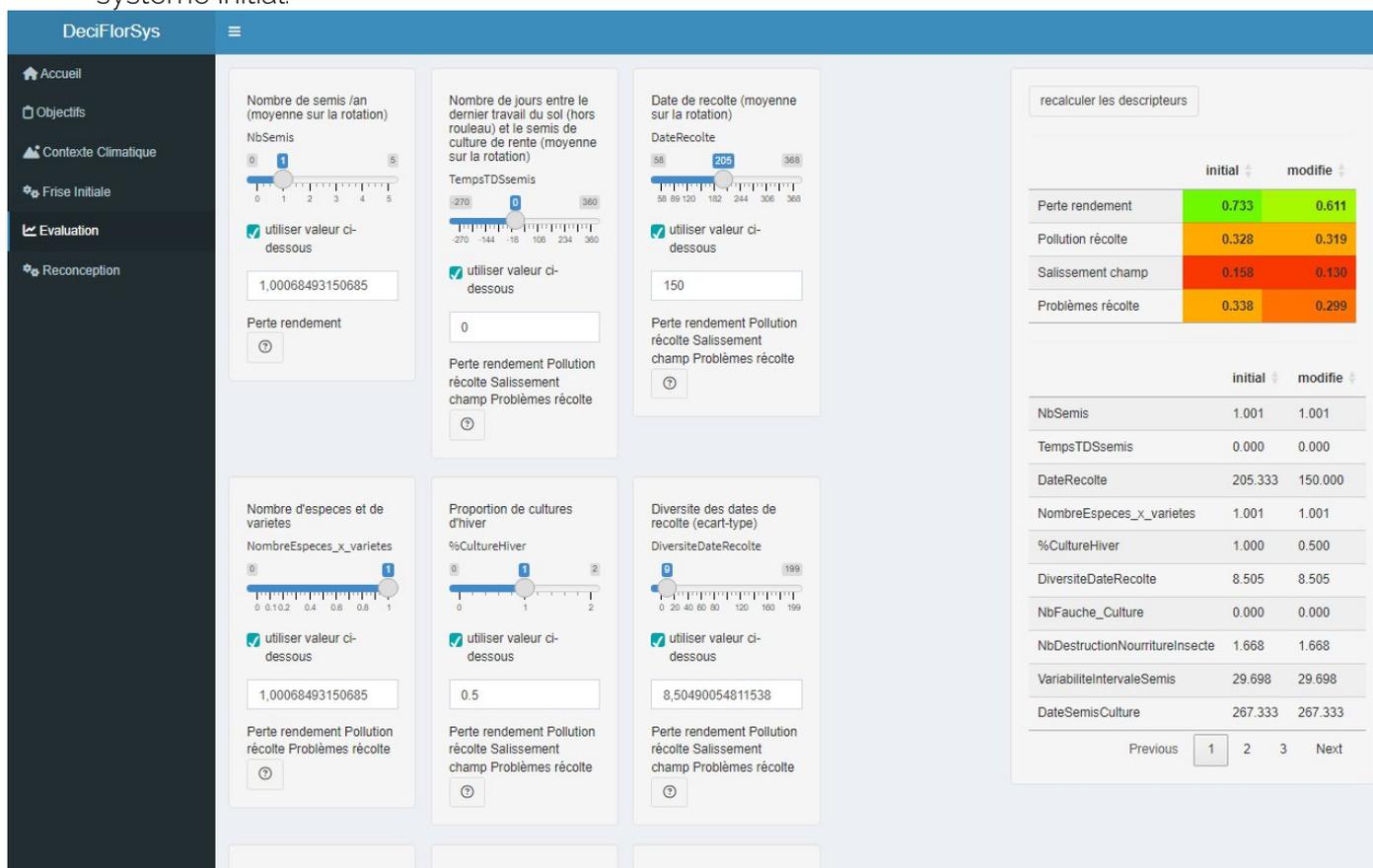
2.4.3 Identification de pistes pour la reconception

Il est possible de faire varier les valeurs des descripteurs en utilisant les curseurs ou – pour plus de précisions – en renseignant les valeurs souhaitées dans les cases prévues à cet effet. Selon la valeur à prendre en compte (curseur ou case), il est nécessaire de préciser en cochant la case « utiliser la valeur ci-dessous ».

Après avoir interagit avec les curseurs ou modifiés des valeurs, il faut recalculer les indicateurs (bouton en haut à droite, au-dessus du tableau). Une seconde colonne apparaît alors pour permettre de visualiser l'impact de ces changements sur les indicateurs de nuisibilité et de biodiversité (Figure 6).

Il est ainsi possible d'interagir et d'explorer les différents descripteurs, afin de comprendre leurs effets sur les objectifs déterminés à l'onglet *Objectifs*. Cela permet d'explorer des pistes pour savoir comment améliorer le système initial pour le rapprocher de son objectif.

Figure 6. Capture d'écran de l'onglet *Évaluation* de DeciFlorSys montrant les modifications des descripteurs, impactant les notes des indicateurs en comparaison avec celles du système initial.



2.5 Reconception du système

2.5.1 Affichage sous forme de frise temporelle

L'objectif de cet onglet *Système alternatif - Reconception* (Figure 7) est de faire évoluer le système initial vers un système correspondant aux objectifs de l'utilisateur (pistes d'évolution déterminé à l'onglet *Évaluation*). Pour cela, on trouve en haut de la fenêtre la frise du système initial non-modifiable et en dessous la frise du système à reconcevoir. Au départ, cette deuxième frise est identique au système initial et il s'agit ensuite de la modifier pour se rapprocher des objectifs.

2.5.2 Modifier le système initial pour atteindre le profil cible

La modification du système à reconcevoir se fait de la même façon que la saisie du système initial (Chapitre 2.3). Sur la colonne à droite de l'écran, on retrouve les descripteurs du système initial (chapitre 2.4.3).

De la même manière que pour le système initial, il est possible de sauvegarder la frise du système alternatif ainsi conçu afin de le conserver et de pouvoir le charger à nouveau dans l'outil lors d'une autre session (Chapitre 3).

2.5.3 Évaluation précise des systèmes de culture initial et reconçu

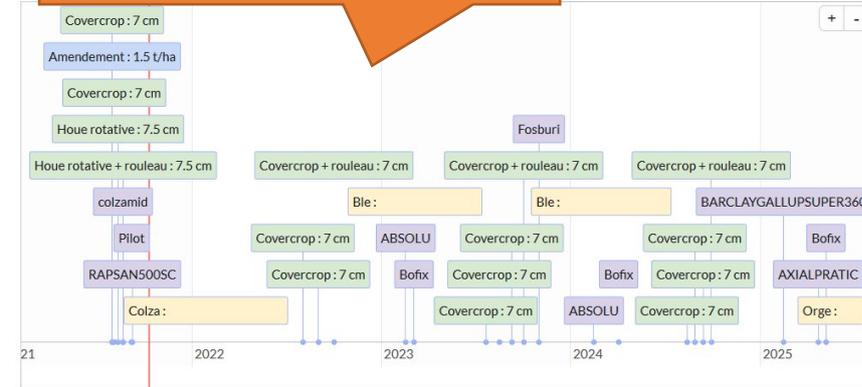
Sous les descripteurs on trouve les valeurs précises d'indicateurs de (dys)services liés aux adventices du système initial et du système alternatif. Ces valeurs sont mises à jour à chaque modification du système afin de pouvoir suivre l'évolution des valeurs du système au gré des modifications apportées. Pour calculer les indicateurs précis, DECIFLORSYS utilise un " métamodèle " qui émule (imite) le comportement FLORSYS. Ce métamodèle calcule directement et instantanément les indicateurs d'impact de la flore adventice sur la production et la biodiversité à partir des descripteurs de système de culture, sans simuler les processus biophysiques liés aux effets du système de culture (chapitre 5.4.2).

Figure 7. Capture d'écran de l'onglet *Système alternatif - Reconception* de DECIFLORSYS servant à saisir les composantes du système de culture alternatif, avec l'évaluation et la comparaison au système initial en direct par le calculateur de DECIFLORSYS

Descripteurs du profil cible et du système alternatif

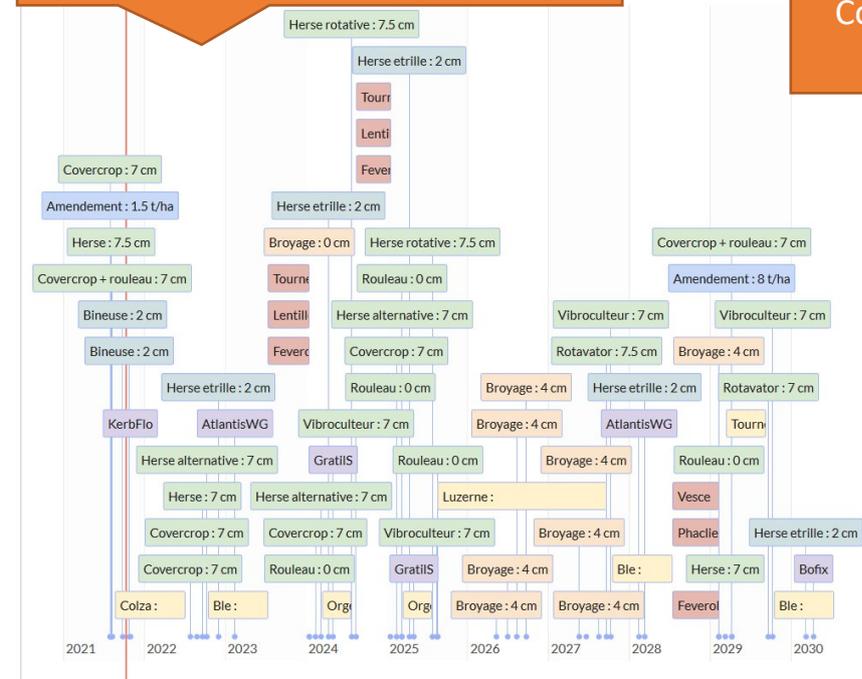
DeciFlorSys Accueil Objectifs Contexte pédoclimatique Système initial Evaluation système initial Système alternatif

Frise du système initial



Descripteurs	Profil cible		Système alternatif
	initial	alternatif	
NbTravSolAnHorsLabourRouleau	< 1.335		2.14
NbTravSolAnHorsLabourRouleau	>=0.3328		2.14
Nourriture carabes	0.60	0.60	
Nourriture abeilles	0.63	0.63	
Nourriture oiseaux	0.44	0.43	
Richesse spécifique adventices	0.58	0.58	
Indice de Pielou	0.44	0.44	
Perte rendement	0.93	0.93	
Pollution recolte	0.51	0.51	
Infestation champ	0.23	0.23	
Problemes recolte	0.52	0.52	
IFT herbidce	0.01	0.01	

Système alternatif à reconcevoir



Comparaison du système initial et alternatif

Sauvegarder le système alternatif
 Charger un système alternatif InnovantB2DeciFlorSys.cs

Ajouter une periode de culture

Periode 1 **Periode 2** Periode 3 Periode 4 Periode 5 Periode 6 Periode 7 Periode 8

Cultures de rente Couvert d'interculture Travail du sol Desherbage mecanique Amendement organique Herbicides

Fauche Broyage

Culture:
 Date de semis (format jj-mm-aaaa):

Variete de la culture:
 Date de recolte (format jj-mm-aaaa):

3 Un mot sur les sauvegardes, chargements etc.

Les onglets *Système initial* et *Système alternatif - Reconception* offrent la possibilité de sauvegarder les systèmes de culture réalisés à l'aide des frises. Les fichiers sont téléchargés en local dans le dossier Téléchargement au format SI_Deciflorsys_AAAA-MM-JJ.csv pour la frise initiale et SA_Deciflorsys_AAAA-MM-JJ.csv pour la frise du système alternatif. Il est alors possible d'échanger ces fichiers via mail, clé USB, etc.

Ces fichiers peuvent être ouverts de nouveau en les chargeant dans l'onglet *Système initial* à l'aide du bouton prévu à cet effet (Figure 4). Ainsi, un ancien système alternatif peut aussi y être chargé et devenir un système initial.

4 Le fonctionnement du champ cultivé

Ce chapitre décrit rapidement les processus qui déterminent le cycle des adventices dans le champ cultivé, sous l'effet du système de culture et du pédoclimat. L'essentiel de ces processus est inclus dans le modèle de recherche FLORSYS (Colbach et al., 2019; Colbach et al., 2021) qui a servi à la construction de l'outil d'aide à la décision DECIFLORSYS (chapitre 5). Cette section est basée sur un chapitre de livre publié chez Quae (Colbach and Moreau, 2018). Le fonctionnement du champ cultivé est également expliqué dans une vidéo [lien vers la vidéo à venir](#).

4.1 Les adventices

4.1.1 Un cycle de vie commun

Les adventices sont des espèces sauvages qui vivent dans un milieu fréquemment et fortement perturbé. En fonction des systèmes de culture et des conditions de milieu, la flore adventice d'un champ est composée de dizaines d'espèces différentes ayant des exigences, des comportements et des conséquences agronomiques extrêmement variables. S'y ajoute la variabilité intra-spécifique qui est d'une part liée (entre autres) à la tolérance croissante des populations adventices aux herbicides, d'autre part liée à des cohortes de plantes levant à différents mois ou même saisons de l'année.

Le cycle de vie des adventices annuelles peut être représenté comme une succession de stades de vie dépendant des mêmes processus biophysiques (Figure 8). Les semences non-dormantes proches de la surface du sol vont germer puis lever si les conditions environnementales (température, humidité, structure du sol) sont favorables. Les semences dormantes ou enfouies trop profondément par le travail du sol ne germent pas et constituent le stock semencier dans le sol. Le vieillissement des semences, les maladies, la prédation et la germination font continuellement décliner le stock semencier, alors que les semences maintenues dans ce stock sont soumises à un cycle saisonnier d'induction et de levées de dormance, en fonction des conditions environnementales.

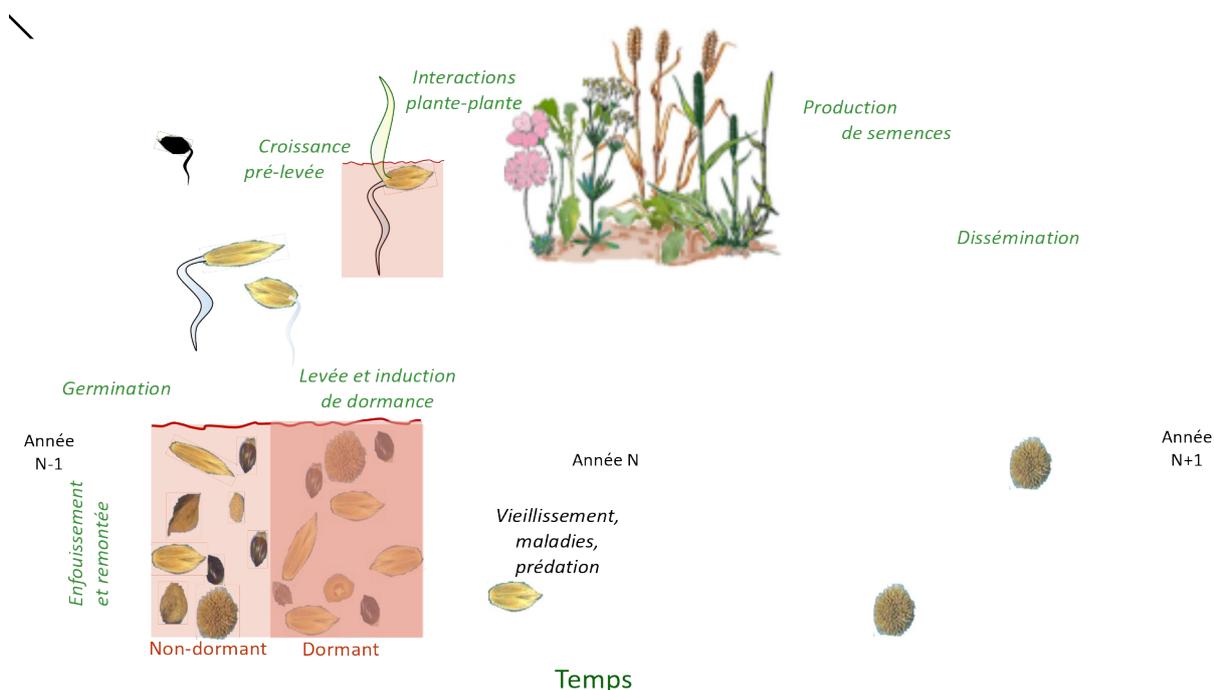


Figure 8. Cycle de vie schématique des adventices annuelles. Les flèches noires indiquent les processus de mortalité (Nathalie Colbach © 2017) (issue de Colbach and Moreau, 2018)

4.1.2 De la semence à la plantule

4.1.2.1 Le stock semencier

Le stock semencier des champs cultivés est constitué de semences produites par des espèces sauvages ou perdues par les plantes cultivées avant et pendant les opérations de récolte. La plupart de ces semences survivent pendant plusieurs années et constituent un stock persistant (Burnside et al., 1996). En fonction de leur longévité dans le sol, les semences peuvent germer plusieurs années après avoir été produites, si bien que les espèces peuvent ainsi recoloniser un champ dont elles étaient absentes pendant plusieurs années. Le stock semencier est plus persistant dans les champs dont le sol est travaillé parce que les semences enfouies profondément survivent plus longtemps (Mohler and Galford, 1997).

À cause de fortes interactions avec le système de culture (et particulièrement la saison de semis et le travail du sol), la flore adventice levée observée pendant une année donnée ne représente généralement qu'une petite fraction de la diversité des espèces présentes dans le sol (Dessaint et al., 1997). De plus, une partie des semences du sol mourra sans jamais germer.

4.1.2.2 Les processus

4.1.2.2.1 Mortalité des semences

La mortalité des semences est le résultat du vieillissement de l'embryon dû aux dommages physiologiques ou chimiques (Priestley, 1986), des attaques par des bactéries ou champignons (Chec-Sanford et al., 2006), ou de la prédation des semences. Il ne faut pas confondre la mortalité avec le déclin du stock semencier, qui est le résultat à la fois de la mortalité des semences et de la germination. Ces processus sont fondamentalement différents dans la mesure où les semences germées peuvent potentiellement se reproduire et réalimenter le stock. De plus, ces processus sont différemment impactés par le système de culture (Boyd and Van Acker, 2003). Les systèmes de culture incluant du labour avec une charrue à socs avec versoir enfouissent les semences à des profondeurs où elles sont à l'abri de la

prédation et de la germination (Puricelli et al., 2005), et persistent ainsi plus longtemps (Mohler and Galford, 1997). En revanche, dans les systèmes où le travail du sol est moins fréquent et/ou superficiel, les semences adventices sont localisées plus près de la surface du sol et sont exposées à la prédation (Holland, 2004).

La mortalité des semences varie considérablement entre espèces, avec un taux de mortalité variant de 1-2% de semences par an pour le panic pied de coq (*Echinochloa crus-galli*) ou la renouée liseron (*Fallopia convolvulus*), à presque 70% pour la digitale sanguine (*Digitaria sanguinalis*) en conditions dijonnaises (Gardarin et al., 2010).

4.1.2.2 La dormance des semences

La dormance des semences est l'absence de germination de semences viables malgré des conditions environnementales favorables (Hilhorst and Toorop, 1997). Elle contribue à la persistance des espèces dans un environnement imprévisible, en limitant la germination à des saisons optimales pour la reproduction de l'espèce (Baskin and Baskin, 1998).

La dormance primaire disparaît au fil du temps, jusqu'à atteindre un premier pic de non-dormance. Celui-ci correspond généralement au moment où la culture permettant la meilleure levée et reproduction de l'adventice est semée : par exemple septembre-octobre pour le vulpin des champs (Lonchamp et al., 1984; Colbach and Dürr, 2003), adventice fréquente en céréales d'hiver. Les conditions hydrothermiques contribuent à lever la dormance primaire, et induisent ensuite la dormance secondaire, conduisant au cycle saisonnier de dormance avec une succession d'inductions et de levées de dormances. Certaines espèces comme la matricaire inodore n'acquièrent quasiment pas de dormance secondaire (Lonchamp et al., 1984), tandis que d'autres comme le gaillet gratteron ou la renouée à feuilles de patience suivent des alternances très contrastées de périodes de dormance et non-dormance (Gardarin and Colbach, 2015). Cette dormance secondaire permet d'empêcher la germination pendant les saisons où les semences germées n'auraient que peu de chance de lever et de finir leur cycle reproductif.

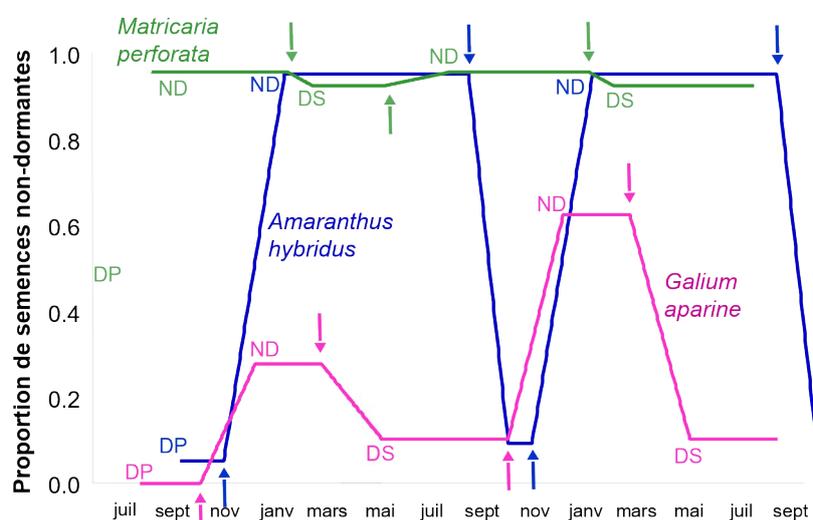


Figure 9. Représentation schématique des cycles de dormance de trois espèces adventices, indiquant les niveaux de dormance primaire (DP), dormance secondaire (DS) et non-dormance (ND), avec les dates de début de levée (↑) et d'induction (↓) de dormance (basé sur Gardarin and Colbach, 2015) (Nathalie Colbach © 2017)

Un autre facteur contribuant à la levée de la dormance est la lumière qui active un phytochrome dans les semences facilitant la germination (Hilhorst, 1995). Comme la lumière ne pénètre que les premiers

millimètres du sol (Benvenuti, 1995), l'activation peut se faire lorsque les semences sont à la surface du sol, ou pendant le travail du sol, si les semences sont imbibées (Scopel et al., 1994).

4.1.2.2.3 Germination des semences

La germination des semences commence avec l'imbibition de la semence sèche, et se termine avec l'élongation de l'axe embryonnaire et le percement des enveloppes (Bewley, 1997). De nombreux signaux physiques et chimiques peuvent déclencher la germination (Hilhorst, 2014; Pons, 2014). Au champ, ces signaux correspondent généralement à un changement dans les conditions environnementales, comme la pluie de semences sur la surface du sol, le déplacement des semences pendant le travail du sol, ou l'augmentation de l'humidité suite à une pluie (Buhler, 1997; Colbach et al., 2006a). La germination détermine quand et combien de semences non-dormantes peuvent potentiellement lever dans un champ. Ce processus peut être caractérisé par deux types de traits qui dépendent de l'espèce. D'une part, la température de base et le potentiel hydrique de base assurent, pour chaque espèce, que la germination est déclenchée au moment où les conditions hydrothermiques du sol correspondent à ses besoins. D'autre part, les paramètres cinétiques déterminent la vitesse de germination de la population de semences, et au final le nombre de semences qui ont le temps de germer avant que les conditions se détériorent. Cette vitesse augmente avec la température et le potentiel hydrique du sol avec, pour la température, une valeur seuil en-dessous de laquelle la germination est inhibée. Généralement, la vitesse de germination augmente lorsque la proportion de semences non-dormantes diminue dans les populations de semences (Vleeshouwers, 1997; Gardarin et al., 2011). Elle est aussi plus élevée pour des espèces à température de base élevée (Gardarin et al., 2011), ce qui pourrait leur permettre de compenser, au moins en partie, leur démarrage tardif.

La germination des semences enfouies diminue avec la profondeur (Benvenuti et al., 2001; Colbach et al., 2006b).

4.1.2.2.4 Mortalité pré-levée des plantules

Après la germination, la semence doit rapidement produire une "pousse" (hypocotyle, ou épicotyle avec feuille) qui atteint la lumière pour commencer la photosynthèse avant que les réserves de la semence ne soient épuisées. Cet épuisement est plus fréquent pour les petites semences et/ou les semences enfouies profondément. Pendant la croissance prélevée, les plantules peuvent aussi rester bloquées sous des mottes de terre, ce qui est plus probable en sol tassé et pour des semences enfouies profondément (Vleeshouwers and Kropff, 2000; Colbach et al., 2006b). Les semences qui germent à proximité de la surface du sol peuvent mourir avant de lever lorsque les horizons superficiels s'assèchent et la racicule est trop courte pour atteindre les horizons sous-jacents plus humides (Colbach et al., 2006b).

4.1.2.3 Conclusion

Le travail du sol va déterminer combien de semences adventices vont lever, tandis que le choix de la culture et la date de semis déterminent si les adventives lèvent avant, avec ou après la levée de la culture. La synchronisation ou non des dates de levées des adventices par rapport à la culture va déterminer la production de semences des adventices : par exemple, un retard de levée de 10 jours d'*Amaranthus powellii* relativement à la culture réduit la production de semences adventices de 90% (Brainard and Bellinder, 2004).

4.1.3 De la plantule à la semence

4.1.3.1 La phénologie, ou comment éviter de mourir avant de se reproduire

Comme les plantes cultivées, les plantes adventices annuelles, une fois levées, se développent et croissent en produisant d'abord des feuilles et des tiges latérales (tallage des graminées), puis fleurissent et produisent des semences. La durée des différentes parties du cycle (phénologie) dépend des exigences de chaque espèce en termes de photopériode (Huang et al., 2012). En parallèle, la température joue à

deux niveaux. D'une part, au-dessus de la température de base de l'espèce (i.e. température en-dessous de laquelle le développement est nul, Bonhomme, 2000), un accroissement des températures accélère le rythme de développement des plantes (exemple du vulpin, Chauvel et al., 2000) jusqu'à une température maximale au-dessus de laquelle le rythme décroît. D'autre part, certaines espèces ont besoin de subir une période de vernalisation (i.e. période de froid nécessaire pour passer en phase reproductrice) pour fleurir (Chauvel et al., 2002) et, pour certaines d'entre elles, un accroissement de la durée de vernalisation avance la date de floraison (Chauvel et al., 2002). La durée du cycle, de la levée jusqu'à la reproduction, détermine si une plante adventice a le temps de se reproduire avant d'être détruite, notamment par les opérations de récolte pour les espèces qui lèvent en culture, et par les opérations de préparation du semis pour celles qui lèvent en interculture. Généralement, les adventices qui ont le plus de succès sont celles dont la phénologie mime celle des cultures.

4.1.3.2 Plasticité

En climat tempéré, la compétition entre plantes est essentiellement pour la lumière. Lorsque les plantes sont jeunes et espacées, elles ne se gênent pas. Une fois que les plantes voisines se font de l'ombre, la plasticité morphologique permet aux adventices d'ajuster leur morphologie pour éviter l'ombrage causé par les plantes voisines et ainsi optimiser l'interception de la lumière (Munier-Jolain et al., 2014). Généralement, les plantes sous couvert accumulent moins de biomasse et adoptent différentes stratégies face à l'ombrage, par exemple en tentant de l'éviter via l'étiollement ou en augmentant la surface d'interception de la lumière avec des feuilles plus larges et fines. En règle général, les espèces adventices sont plus plastiques que les espèces cultivées, c'est-à-dire elles changent plus leur morphologie en réaction aux stress (Colbach et al., 2020b).

4.1.3.3 Stress et biomasse

La lumière n'est pas le seul facteur limitant l'accumulation de la biomasse. Le gel est aussi à l'origine de perte de biomasse et même de mortalité, surtout au stade cotylédon et pendant la reproduction (Fowler et al., 1999). Les espèces automnales/hivernales sont moins sensibles au gel que les printanières ou estivales.

Tout comme les plantes cultivées, les adventices peuvent subir des stress biotiques dus à des maladies ou ravageurs. Ces bioagresseurs peuvent être une piste pour la régulation biologique ou la lutte biologique contre les adventices. Si ces bioagresseurs s'attaquent également aux cultures, alors les adventices peuvent leur servir de relais et ainsi augmenter le risque pour les cultures.

4.1.3.4 Production de semence

Lors du remplissage des semences, la biomasse est progressivement remobilisée vers les semences. Au niveau des espèces existe un compromis ("trade-off") entre le nombre de semences produites et le poids des semences ; pour une même biomasse de semences, les espèces à grosses graines comme la folle avoine (*Avena fatua* L.) produisent moins de semences que les espèces à petites graines comme la matricaire inodore. En revanche, une fois disséminée, une semence lourde a plus de chance de persister dans le sol et de lever qu'une petite semence (chapitre 4.1.2.2). Dans le cas des espèces strictement allogames comme le vulpin (Naylor, 1972), les semences peuvent être vides s'il n'y a pas assez de plantes voisines pour produire du pollen ce qui induit des taux de viabilité des semences très variables entre espèces et entre situations pour une même espèce.

Les semences nouvellement produites sont généralement dormantes (chapitre 4.1.2.2.2). Elles tombent à la surface du sol et intègrent le stock semencier de la parcelle, si elles ne se dispersent pas dans le paysage et si elles ne subissent pas de prédation.

4.1.4 Interaction avec le système de culture

Dans les champs cultivés, les variations climatiques interannuelles et leurs effets sur les processus du cycle de vie des adventices n'expliquent qu'une petite partie de la dynamique adventice à long terme (Freckleton and Watkinson, 2002). Les types de culture, les variétés et les dates de semis varient généralement d'une année à l'autre. Il en est de même pour les états du milieu qui dépendent des pratiques culturales, comme la profondeur et la date de travail du sol. L'agriculteur raisonne son système de culture pour optimiser les conditions pour les cultures, aux dépens notamment des adventices.

4.2 Comment gérer les adventices ?

4.2.1 Les opérations culturales produisent différentes perturbations

Chaque opération culturale perturbe le champ de façon bien spécifique, ce qui offre à l'agriculteur une large gamme de leviers pour agir sur les adventices de la parcelle. Le tableau 1 décrit l'effet des différentes opérations que l'utilisateur peut utiliser.

Tableau 6. Synthèse de l'effet des opérations culturales sur la dynamique de la flore adventice, avec les processus biophysiques impliqués et les interactions possibles.

Effet intermédiaire		Effet sur les adventices			
Travail du sol et désherbage mécanique (les effets dépendent de l'outil, la vitesse, l'humidité du sol et sa structure)					
		Dormance	Germination		Mortalité pré-émergente des graines germées
↘ compaction du sol					↘
Déplace les graines		↘ (dans les horizons humides, outils à retournement)	↗ (Dans les horizons humides)		
Enterre les graines (dépend de la structure du sol)	Sans enterrement				↗ (en sécheresse estivale)
	Enterrement superficiel		↗ (meilleure absorption d'eau)		
	Enterrement profond		↘ (O2 manquant, trop de CO2 & de masse de sol)		↗ (réserve de graines insuffisante)
Déracine et enterre les pousses		↗ mortalité des plantes & ↘ biomasse des plantes survivantes			
Espèce et variété des cultures (en incluant les couverts, les semis sous-couverts...)					
Choix des techniques culturales		Voir les effets des techniques			
Saison de semis		↗ espèces adventices non-dormantes à la saison de semis			
Ombrage		↘ photosynthèse & biomasse et ↗ étiolement			
Date de semis					
Date d'émergence de la culture		Plus les adventices émergent tôt par rapport à la culture, plus elles ont de chance de survivre			
Date du dernier travail du sol ou herbicide		Plus le dernier travail du sol/herbicide est tard, plus les adventices auront germé et seront tuées par le travail du sol/herbicide			
Densité de semis					
↗ ombrage		↘ photosynthèse & biomasse et ↗ étiolement			
Variabilité dans l'ombrage de la canopée		Semis irrégulier → Trous dans la canopée → croissance adventices et meilleure reproduction			
Herbicides					
Mode d'entrée		Pousses non émergentes	Plantes émergentes	Plantes émergées	Durée d'action
	Feuilles	Pas d'effet		Tue	~1 jour
	Racines	Tue (racines superficielles)			Plusieurs jours ou semaines
	Meristèmes	Pas d'effet	Tue	Pas d'effet	
Dosage		↗ efficacité (particulièrement si mauvaises conditions/matériel)			
Densité de la canopée		↘ efficacité			
Taille des plantes		↘ efficacité			
Opérations de fauche, broyage et récolte					
Coupe des plantes et ↘ biomasse					
Plus les plantes sont vieilles, plus il y a de mortalité et moins il y a de biomasse survivante					
Amendement organique					
Ajoute une couche de sol en surface		~ enterrement superficiel des graines par travail du sol (voir plus haut)			
Peut inclure des graines adventices		↗ banque de graines dans le sol			
Irrigation					
↗ humidité du sol	↗ germination des graines adventices				
	Intéragit avec les techniques dont les effets dépendent de l'humidité du sol (travail du sol, désherbage mécanique, compaction du sol)				
Toutes (excepté le choix de variété/espèce & irrigation)					
↗ compaction du sol par passage de roues		↗ mortalité des pousses pré-émergentes			
Toutes les opérations destructrices					
Chute de graines si des plantes matures sont tuées					

4.2.2 Diversifier pour mieux gérer

Les effets des techniques de cultures dépendent grandement des conditions climatiques, un système diversifié sera plus robuste face aux variations climatiques. L'agriculteur peut diversifier les opérations culturales mais aussi les cultures dans la rotation afin d'avoir des cultures aux cycles différents (cultures

de printemps et culture d'hiver), ou faire des associations de cultures ou de variétés d'une même culture pour diversifier les caractéristiques des individus sur la parcelle.

4.2.3 Combiner les techniques de gestion

Dans la mesure où les techniques culturales autres que les herbicides n'ont qu'un effet partiel sur les adventices, il est crucial de judicieusement combiner plusieurs techniques pour gérer les adventices. C'est bien là où DECIFLORSYS va jouer tout son rôle, pour déterminer comment combiner ces différentes techniques en fonction de l'objectif (en termes d'indicateurs d'impact des adventices) et de la situation de production.

4.3 Pour en savoir plus

- Colbach, N., Cordeau, S., & Gardarin, A. (2020). "Effets des modalités de préparation des sols et de semis sur la flore adventice," in *Réussir l'implantation des cultures : enjeux agroécologiques, itinéraires techniques*, eds. J. Boiffin, F. Laurent & G. Richard. (Paris, France: Éditions Quae), 179-207.
- Colbach, N., Petit, S., Chauvel, B., Deytieux, V., Lechenet, M., Munier-Jolain, N.M., Cordeau S. (2020). Relations entre niveau d'usage d'herbicides, flore adventice et rendement : analyse critique des méthodes et synthèse des acquis. *Innovations Agronomiques* 81, 1-17. doi: <https://doi.org/10.15454/bpst-th82>.
- Délye, C., Colbach, N., & Le Corre, V. (2020). Résistances aux herbicides : mécanismes, situation en France et bonnes pratiques. *Innovations Agronomiques* 81, 33-49. doi: <https://doi.org/10.15454/8j8h-6610>.
- Moreau, D., Perthame, L., & Colbach, N. (2020). La compétition pour les ressources entre plantes : des clés pour choisir les cultures et variétés pour contrôler les adventices. *Innovations Agronomiques* 81, 19-32. doi: <https://doi.org/10.15454/qrvv-7344>.
- Chauvel B, Darmency H, Munier-Jolain N. & Rodriguez A. (eds) (2018) *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. Éditions Quae (Paris, France)
- Colbach, N., and Vacher, C. (2014). "Travail du sol et gestion de la flore adventice," in *Faut-il travailler le sol? Acquis et innovations pour une agriculture durable*, eds. J. Labreuche, F. Laurent & J. Roger-estrade. éditions Quae, Arvalis – Institut du végétal), 113-125.

5 Comment a été créé DECIFLORSYS (pour les curieux)

5.1 Le principe

Le développement de l'outil DECIFLORSYS a été démarré pendant le travail de doctorat de Floriane Colas (Colas, 2018; Colas et al., 2020a; Colas et al., 2020b). 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 (Figure 10) :

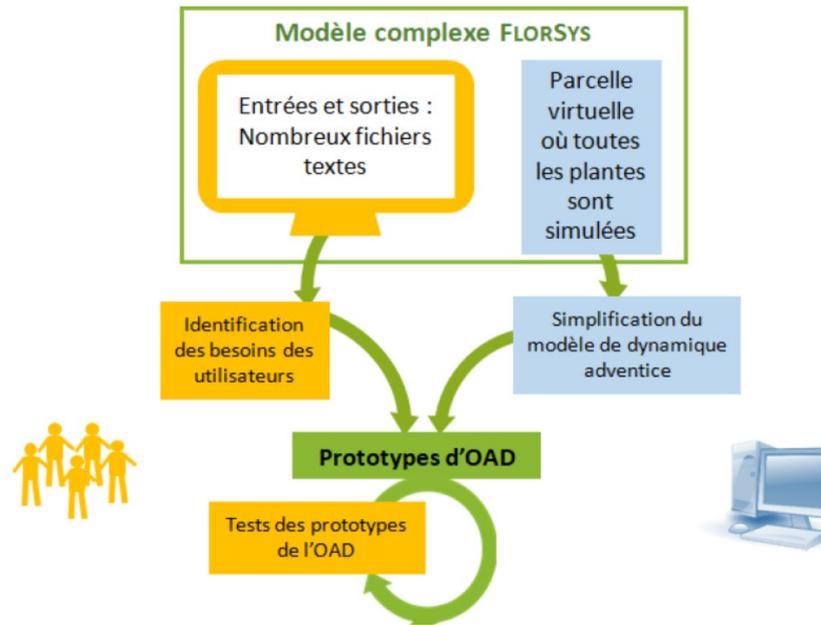


Figure 10. Déroulé de la conception de DECIFLORSYS à partir de la simplification du modèle complexe FLORSYS et en interaction avec les futurs utilisateurs (agriculteurs et conseillers) de l'outil d'aide à la décision (tiré de Colas et al., 2020b).

1. Les futurs utilisateurs, agriculteurs et conseillers, étaient interrogés via des enquêtes en ligne et des réunions sur leurs besoins en termes d'outils d'aide à la décision stratégique pour la gestion intégrée des adventices. Deux besoins contrastés ont été identifiés (Figure 11) :
 - la conception de nouveaux systèmes de culture multiperformants visant à la fois le contrôle de la nuisibilité des adventices pour la production agricole, l'usage d'herbicides et la promotion des services liés aux adventices. Les systèmes de culture sont décrits à une échelle pluriannuelle sur la base de méta-règles de décision. Un tel outil n'existait pas.
 - L'ajustement fin et le diagnostic de systèmes de culture, toujours en termes de nuisibilité des adventices, usage herbicides et biodiversité. Ce type d'outil doit décrire de façon complète le système de culture, via une liste d'opérations détaillée. Il correspond en fait au modèle de recherche FLORSYS (chapitre 5.2).

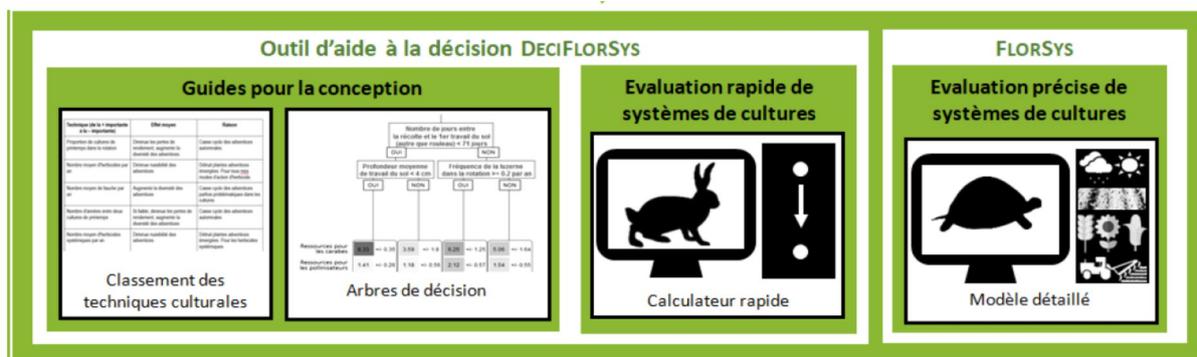


Figure 11. Complémentarité entre deux besoins d'outils d'aide à la décision stratégique intégrée pour la gestion des adventices identifiés auprès des futurs utilisateurs, conseillers et agriculteurs. L'un de ces besoins correspond au modèle de recherche FLORSYS, l'autre à l'outil d'aide à la décision DECIFLORSYS développé pendant le doctorat de Floriane Colas (tiré de Colas et al., 2020b).

2. Pour profiter des énormes connaissances sur le fonctionnement de l'agroécosystème synthétisées dans le modèle mécaniste FLORSYS (chapitre 5.2), ce dernier a été utilisé comme réseau de parcelles virtuelles pour simuler une grande diversité de systèmes de culture et de régions (chapitre 5.3). Les simulations permettent d'étudier une plus grande diversité de situations que sur le terrain, d'avoir les résultats plus rapidement et avoir accès à des variables (culture, adventice, sol) difficiles et impossibles à mesurer sur le terrain. Les données simulées ont ensuite été utilisées comme si c'étaient des données relevées de terrain pour ajuster des modèles statistiques (chapitre 5.4). Ces modèles statistiques prédisent les mêmes indicateurs d'impact de la flore adventice (chapitre 2.1) que FLORSYS, en quelques secondes au lieu de plusieurs heures.
3. L'"emballage" de ces modèles statistiques tout d'abord en termes de variables, formats etc., puis d'interface graphique a été décidé et amélioré pas-à-pas dans des ateliers avec différents groupes d'utilisateurs-testeurs. Les ateliers visaient à recueillir les impressions de différents utilisateurs (conseillers de différentes structures, agriculteurs, étudiants...) sur l'interface elle-même, mais aussi à les projeter dans différentes situations d'usage potentiel de l'outil sur la co-conception de systèmes de culture intégrés / agroécologiques (conseil en groupe, enseignement, conseil en individuel...).

5.2 La "parcelle expérimentale virtuelle" FLORSYS

5.2.1 Résumé

FLORSYS est une représentation de la parcelle agricole tenant compte de l'essentiel des processus décrits dans le chapitre 4. Il prend en entrée la rotation et les différentes opérations culturales du système de culture, un stock semencier adventice avec le nombre de semences adventices pour différentes espèces, les caractéristiques du sol de la parcelle et des données météo journalières (rayonnement, évapotranspiration, pluviométrie et température). Avec ces données, il simule, jour après jour sur plusieurs années ou décennies, le développement de chaque individu de plante adventice et de culture, en prenant en compte les perturbations apportées par les opérations culturales. FLORSYS produit de nombreuses sorties comme la densité de semences ou plantes adventices par jour ainsi que différents indicateurs de (dys)services liés à la flore adventice, desquels sont tirés les indicateurs de DECIFLORSYS. FLORSYS est un modèle très lourd, chaque simulation de système demande plusieurs heures à plusieurs jours pour avoir les résultats.

5.2.2 Les variables d'entrée

L'utilisateur entre une liste d'opérations culturales couvrant plusieurs années, similaire à l'enregistrement des opérations d'un champ réel en station expérimentale ou dans une exploitation agricole, le tout accompagné de la latitude, de relevés météo et de caractéristiques du sol (chapitre 2.2.1 et 2.2.2). Cette liste comprend toutes les opérations (travail du sol, semis, désherbage mécanique, fertilisation, pesticides, fauche, récolte) décrites en détail en termes de dates et options (par exemple pour une opération de semis : date, densité, profondeur, largeur inter-rang, orientation, semoir, espèces et variétés, traitement de semences, impureté dans le lot de semences). Ces informations sont similaires à celles demandées pour renseigner les systèmes de culture dans DECIFLORSYS (chapitre 2.3.2), en plus détaillé.

La parcelle virtuelle doit aussi être initialisée avec un ensemble d'espèces adventices présentes dans le stock semencier du sol (ou banque de semences), soit mesuré par des prélèvements de sol, soit estimé à partir de la flore adventice régionale.

5.2.3 Le cycle de vie des adventices et des cultures

Ces entrées influencent le cycle de vie des adventices et des cultures en fonction de différents processus, avec un pas de temps journalier (Figure 12). Pour inclure une diversité d'espèces dans FlorSys, une représentation générique du cycle de vie et des plantes est nécessaire, c'est-à-dire une représentation valable pour n'importe quelle espèce (cultivée/adventice, monocot/dicot...). Les stades pré-levée dépendent de la structure, la température et du potentiel hydrique du sol. Le couvert cultures-adventices est représenté en 3D avec une représentation simplifiée de chaque plante, qu'elle soit cultivée ou adventice. Cette représentation est nécessaire pour tenir compte de l'hétérogénéité des couverts, avec une flore adventice composée de dizaines voire centaines d'espèces réparties en tâches, avec des levées de chaque espèce échelonnées sur des semaines voire des mois. Cette approche est également adaptée pour simuler des associations de cultures. Les processus post-levée dépendent de la lumière, de la température de l'air et de l'azote du sol (en cours d'implémentation). À la maturité des plantes, les semences adventices sont retournées au stock semencier du sol tandis que les graines des cultures sont récoltées pour calculer le rendement.

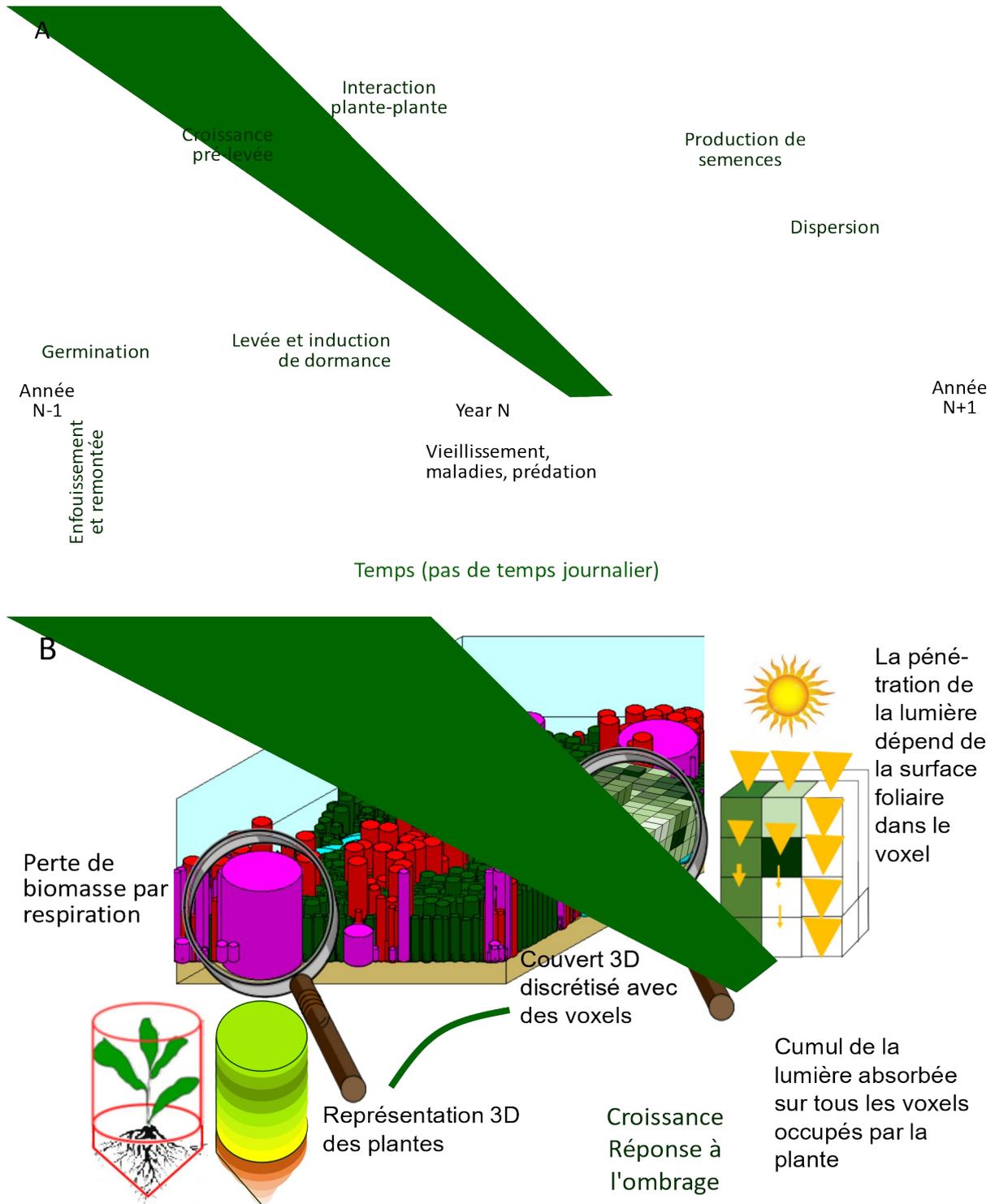


Figure 12. Représentation simplifiée des stades et processus spatio-temporels dans le modèle FlorSys (Gardarin et al., 2012; Munier-Jolain et al., 2013; Colbach et al., 2014). A. Représentation temporelle du cycle de vie annuel des cultures et adventices, montrant la représentation 1D du stock semencier. B. Représentation 3D individu-centré du couvert cultures-adventices, avec un focus sur la compétition plante-plante pour la lumière (Nathalie Colbach © 2019)

5.2.4 Les espèces utilisées pour construire DECIFLORSYS

La version du modèle FLORSYS utilisée pour construire la version actuelle de DECIFLORSYS était paramétrée pour 25 espèces adventices fréquentes et contrastées (Tableau 7) ainsi que 16 espèces cultivées (de rente et de services) (Tableau 8). Si les systèmes de culture simulés comprenaient d'autres espèces cultivées, l'espèce paramétrée la plus proche était utilisée comme " proxy ", jouant le même rôle que l'espèce manquante.

Pour information, FLORSYS (version 3) est aujourd'hui paramétré pour 32 espèces adventices et 33 espèces cultivées, qui pourront servir pour la prochaine version de DECIFLORSYS.

Tableau 7. Liste des espèces adventices utilisées en simulation avec FLORSYS pour construire DECIFLORSYS (classées en fonction des codes EPPO)

Nom français	Code EPPO	Nom latin
Abutilon de Théophraste	ABUTH	<i>Abutilon theophrasti</i>
Vulpin des champs	ALOMY	<i>Alopecurus myosuroides</i>
Amaranthe réfléchi	AMARE	<i>Amaranthus retroflexus</i>
Ambroisie à feuilles d'armoise	AMBEL	<i>Ambrosia artemisiifolia</i>
Folle avoine	AVEFA	<i>Avena fatua</i>
Capselle bourse à pasteur	CAPBP	<i>Capsella bursa-pastoris</i>
Chénopose blanc	CHEAL	<i>Chenopodium album</i>
Datura stramoine	DATST	<i>Datura stramonium</i>
Digitaire sanguine	DIGSA	<i>Digitaria sanguinalis</i>
Panic pied de coq	ECHCG	<i>Echinochloa crus-galli</i>
Gaillet gratteron	GALAP	<i>Galium aparine</i>
Géranium disséqué	GERDI	<i>Geranium dissectum</i>
Matricaire inodore	MATIN	<i>Matricaria perforata</i>
Mercuriale annuelle	MERAN	<i>Mercurialis annua</i>
Panic faux-millet	PANMI	<i>Panicum miliaceum L.</i>
Pâturin annuel	POAAN	<i>Poa annua</i>
Renouée des oiseaux	POLAV	<i>Polygonum aviculare</i>
Renouée liseron	POLCO	<i>Fallopia convolvulus</i>
Renouée persicaire	POLPE	<i>Persicaria maculosa Gray</i>
Séneçon vulgaire	SENVU	<i>Senecio vulgaris</i>
Morelle noire	SOLNI	<i>Solanum nigrum</i>
Laiteron rude	SONAS	<i>Sonchus asper</i>
Stellaire intermédiaire ou Mouron des oiseaux	STEME	<i>Stellaria media</i>
Véronique à feuilles de Lierre	VERHE	<i>Veronica hederifolia</i>
Véronique de Perse	VERPE	<i>Veronica persica Poir.</i>

Tableau 8. Liste des espèces cultivées utilisées en simulation avec FLORSYS pour construire DECIFLORSYS (classées en fonction des noms français)

Nom français	Code EPPO	Nom latin
Betterave	BEAVX	<i>Beta vulgaris</i>
Blé cv. Caphorn	TRZAX	<i>Triticum aestivum</i>
Blé cv. Cézanne	TRZAX	<i>Triticum aestivum</i>
Blé cv. Orvantis	TRZAX	<i>Triticum aestivum</i>
Colza	BRSNN	<i>Brassica napus</i>
Féverole cv. Gladice	VICFX	<i>Vicia faba</i>
Lin	LIUUT	<i>Linum usitatissimum</i>
Luzerne	MEDSA	<i>Medicago sativa</i>
Mais	ZEAMX	<i>Zea mays L</i>
Mais ensilage	ZEAMX	<i>Zea mays L</i>

Moutarde	SINAL	<i>Sinapis alba</i>
Orge	HORVX	<i>Hordeum vulgare</i>
Orge cv. variété générique de printemps	HORVX	<i>Hordeum vulgare</i>
Pois cv. China	PIBSX	<i>Pisum sativum L.</i>
Pois cv. Enduro	PIBSX	<i>Pisum sativum L.</i>
Pois cv. Huitcent	PIBSX	<i>Pisum sativum L.</i>
Pois cv. variété générique de printemps	PIBSX	<i>Pisum sativum L.</i>
Raygrass italien	LOLMU	<i>Lolium multiflorum Lam.</i>
Soja	GLXMA	<i>Glycine max</i>
Sorgho	SORVU	<i>Sorghum bicolor</i>
Tournesol	HELAN	<i>Helianthus annuus</i>
Trefle violet	TRFPR	<i>Trifolium pratense</i>
Triticale cv. Matinale	TTLSS	<i>xTriticosecale</i>

5.2.5 Effet des techniques culturales

Les processus du cycle de vie sont modulés en fonction des techniques culturales, des caractéristiques biologiques de chaque semence ou plante, et de leur environnement qui dépend lui-même du pédoclimat, des techniques culturales et de la présence de plantes voisines. Par exemple, les probabilités de survie des plantes adventices sont calculées en fonction (1) des opérations culturales (travail du sol, herbicides, désherbage mécanique, fauche, récolte) et de leurs options (ex. profondeur, outil et vitesse de travail du sol), (2) des états du milieu (ex. humidité du sol, densité du couvert), et (3) de la morphologie, du stade et, dans les cas des herbicides, du génotype de la plante. Ensuite, cette probabilité est comparée à une probabilité tirée au hasard pour déterminer si la plante meurt ou survit.

Le Tableau 6 au chapitre 4.2.1 résume l'essentiel des effets compris dans FLORSYS.

5.2.6 Des critères d'évaluation conçus avec les acteurs et inspirés de l'écologie des communautés

L'approche mécaniste de FLORSYS permet de produire des sorties très détaillées (par jour et en 3D) semblables à des mesures réalisées sur des couverts réels dans des champs expérimentaux ou agricoles. Ces sorties sont essentielles pour comprendre le fonctionnement de l'agroécosystème et diagnostiquer la performance des systèmes de culture testés. Pour simplifier la comparaison des systèmes de culture, ces sorties détaillées sont traduites en indicateurs de (dys)services des adventices.

Ces indicateurs comprennent ceux également utilisés par DECIFLORSYS (chapitre 2.1.3), ainsi que d'autres développés depuis. Les indicateurs de dysservices ont été développés (Mézière et al., 2015) puis évalués (Colas, 2018; Colas et al., 2020a) avec des conseillers et agriculteurs en enquête et dans des ateliers. Ils intègrent la nuisibilité directe (ex. perte de rendement) et indirecte (ex. augmentation du risque de maladies) des adventices pour la production, ainsi que des problèmes techniques (ex. bourrage de la moissonneuse par des adventices) et des blocages sociologiques (ex. un champ "sale" peut nuire à la réputation de l'agriculteur même s'il n'y a pas d'impact sur le rendement) liés aux adventices.

Les indicateurs de services ont été développés avec des écologues et des agronomes (Mézière et al., 2015; Colbach et al., 2020a; Moreau et al., 2020) et reflètent la contribution des adventices à la biodiversité et à l'environnement physique. Ils concernent la biodiversité végétale sauvage, le rôle des adventices pour nourrir des organismes bénéfiques ou neutres (pollinisateurs, oiseaux, carabes) et pour réduire l'impact des pratiques agricoles sur l'environnement (lixiviation d'azote, transfert de pesticides, érosion du sol). Ces derniers ne sont pas encore compris dans la version actuelle de DECIFLORSYS.

5.2.7 Domaine de validité

FLORSYS a été évalué ("validé") à dire d'experts et en comparaison à des observations de terrain d'adventices (densité, biomasse, stock semencier) et de cultures (densité, biomasse, rendement) dans une large gamme de systèmes et de pédoclimats (Colbach et al., 2016; Pointurier et al., 2021). Dans la plupart des situations, le rendement, les stocks semenciers et les densités adventices observés sont correctement prédits et classés en fonction des systèmes de culture et des espèces adventices, surtout à l'échelle de la rotation.

5.2.8 Pour en savoir plus:

Colbach, N., Colas, F., Cordeau, S., Maillot, T., Queyrel, W., Villerd, J., et al. (2021). The FLORSYS crop-weed canopy model, a tool to investigate and promote agroecological weed management. *Field Crops Research* 261, 108006. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108006>.

Colbach, N. (2020). "How to use a "virtual field" to evaluate and design integrated weed management strategies at different spatial and temporal scales," in *Decision Support Systems for Weed Management*, eds. G.R. Chantre & J.L. González-Andújar. (Cham, Switzerland: Springer International Publishing), 227-248.

Colbach, N., Cordeau, S., Queyrel, W., Maillot, T., Villerd, J., and Moreau, D. (2019). Du champ virtuel au champ réel - ou comment utiliser un modèle de simulation pour diagnostiquer des stratégies de gestion durables des adventices? *Agronomie, Environnement et Sociétés* 9(2), 111-128. doi: <https://agronomie.asso.fr/aes-9-2-14>.

5.3 Le plan expérimental

Pour créer DECIFLORSYS, 4326 systèmes de cultures ont été simulés dans FLORSYS. Une première série de systèmes était destinée à la construction de l'outil:

- 208 systèmes réalistes et variés, issu d'enquêtes en exploitation agricole, statistiques agricoles, conseillers agricoles, essais "système"...
- Ces mêmes 208 systèmes, après avoir supprimé toutes les opérations de travail du sol
- Les 208 systèmes, après avoir supprimé tous les herbicides
- 3043 scénarios aléatoires, issus de tirages aléatoires des rotations et opérations culturales

Enfin, 659 systèmes de culture issus du réseau DEPHY-FERME ont été utilisés pour évaluer DECIFLORSYS, en confrontant les prédictions de DECIFLORSYS aux simulations de FLORSYS.

Chaque système a été simulé pendant 30 ans et avec 10 répétitions climatiques pour prendre en compte la variabilité liée au climat. Pour chacun d'eux, FLORSYS a fourni des valeurs des 10 indicateurs du chapitre 2.1.

Les systèmes ont été synthétisés par descripteurs (chapitre 2.3) et des liens entre descripteurs et indicateurs ont été établis grâce aux modèles statistiques du chapitre 5.4.

5.4 Modèles statistiques

Jean, peux-tu remplir?

5.4.1 Arbre de décision : arbre aléatoire

Jean, peux-tu remplir?

5.4.2 Comparaison de système reconçu : Forêt aléatoire

Jean, peux-tu remplir?

5.5 Pour en savoir plus

5.5.1 En français

- Colas, F. (2018). *Co-développement d'un modèle d'aide à la décision pour la gestion intégrée de la flore adventice. Métamodélisation et analyse de sensibilité d'un modèle mécaniste complexe (FLORSYS) des effets des systèmes de culture sur les services et disservices écosystémiques de la flore adventice*. PhD Thesis PhD Thesis, Univ. Bourgogne Franche-Comté. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01829696>
- Colas, F., Queyrel, W., Van Inghelandt, B., Villerd, J., and Colbach, N. (2018). Un OAD pour la gestion agroécologie que adventices. De FlorSys à FLO², ou comment passer d'un modèle de recherche, complet mais compliqué à utiliser, à un outil d'aide à la décision fonctionnel. *Phytoma* 719, 14-18.
- Colas, F., Queyrel, W., Van Inghelandt, B., Villerd, J., and Colbach, N. (2020). DeciFlorSys : un outil pour accompagner les agriculteurs dans la transition agroécologique. *Innovations Agronomiques* 81, 91-100. doi: <https://doi.org/10.15454/tcsz-9a31>.
- Colas, F., Villerd, J., and Colbach, N. (2019). "Simplification d'un modèle complexe pour le développement d'un modèle d'aide à la décision pour la gestion agroécologique de la flore adventice", in: *Végéphyt – 24e conférence du COLUMA - Journées Internationales sur la Lutte Contre Les Mauvaises Herbes*. (Orléans, France).

5.5.2 En anglais

- Colas, F., Cordeau, S., Granger, S., Jeuffroy, M.-H., Pointurier, O., Queyrel, W., et al. (2020). Co-development of a decision support system for integrated weed management: contribution from future users. *European Journal of Agronomy* 114, 126010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126010>.
- Colas, F., Gauchi, J.-P., Villerd, J., and Colbach, N. (2021). Simplifying a complex computer model: sensitivity analysis and metamodelling of the complex process-based model FLORSYS. *Ecological Modelling* 454, 109607. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109607>.

6 FAQ

Cette foire aux questions liste des questions typiques des utilisateurs et des pistes pour les dépanner.

6.1 J'ai un problème avec une adventice en particulier mais DECIFLORSYS ne me demande pas la flore, que faire ?

DECIFLORSYS détermine un stock semencier adventice initial, avec le contexte pédoclimatique (chapitre 2.3). Ensuite il s'appuie sur des simulations du système de culture entré par l'utilisateur pour voir la dynamique des populations adventices. Si le système amène à une forte densité d'adventices, alors la situation sera prise en compte et les indicateurs de (dys)services liés à la flore montreront une forte nuisibilité des adventices pour la production. Il n'y a donc pas besoin de spécifier précisément les adventices problématiques.

6.2 Y a-t-il une estimation du rendement dans DECIFLORSYS ?

La version actuelle de DECIFLORSYS ne prédit que la perte de rendement due aux adventices (voir les indicateurs pris en compte par l'outil au chapitre 2.1), et non pas le rendement lui-même.

6.3 Y a-t-il des indicateurs économiques dans DECIFLORSYS ?

Non, il n'y a pas d'indicateurs économiques dans DECIFLORSYS (voir les indicateurs pris en compte par l'outil au chapitre 2.1). Ce dernier a été développé spécifiquement pour l'impact des adventices sur la production agricole et la biodiversité. D'autres équipes d'INRAE et d'ailleurs sont spécialisés dans ces questions :

- MASC: https://www6.inrae.fr/means_eng/Multicriteria-assessment-tools/MASC-model
- DEXiPM
- SYSTERRE

7 Références citées dans ce document

- Baskin, C.C., Baskin, J.M., 1998. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, USA xiv + 666 pp.
- Benvenuti, S., 1995. Soil light penetration and dormancy of Jimsonweed (*Datura stramonium*) seeds. *Weed Sci.* 43, 389-393.
- Benvenuti, S., Macchia, M., Miele, S., 2001. Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. *Weed Sci.* 49, 528-535.
- Bewley, J.D., 1997. Seed germination and dormancy. *The Plant Cell* 9, 1055-1066.
- Bonhomme, R., 2000. Bases and limits to using "degree.day" units. *Eur. J. Agron.* 13, 1-10.
- Boyd, N.S., Van Acker, R.C., 2003. The effects of depth and fluctuating soil moisture on the emergence of eight annual and six perennial plant species. *Weed Sci.* 51, 725-730.
- Brainard, D.C., Bellinder, R.R., 2004. Assessing variability in fecundity of *Amaranthus powellii* using a simulation model. *Weed Res.* 44, 203-217.
- Buhler, D.D., 1997. Effects of tillage and light environment on emergence of 13 annual weeds. *Weed Technology* 11, 496-501.
- Burnside, O.C., Wilson, R.G., Weisberg, S., Hubbard, K.G., 1996. Seed longevity of 41 weed species buried 17 years in eastern and western Nebraska. *Weed Sci.* 44, 74-86.
- Chauvel, B., Munier-Jolain, N., Letouzé, A., Grandgirard, D., 2000. Developmental pattern of leaves and tillers in a black grass population (*Alopecurus myosuroides* Huds.). *Agronomie* 20, 247-257.
- Chauvel, B., Munier-Jolain, N.M., Grandgirard, D., Guéritaine, G., 2002. Effect of vernalization on the development and growth of *Alopecurus myosuroides*. *Weed Res.* 42, 166-175.
- Chee-Sanford, J.C., Williams, M.M., II, Davis, A.S., Sims, G.K., 2006. Do microorganisms influence seed-bank dynamics? *Weed Sci.* 54, 575-587.
- Colas, F., 2018. Co-développement d'un modèle d'aide à la décision pour la gestion intégrée de la flore adventice. Métamodélisation et analyse de sensibilité d'un modèle mécaniste complexe (FLORSYS) des effets des systèmes de culture sur les services et disservices écosystémiques de la flore adventice. Univ. Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France, p. 334.
- Colas, F., Cordeau, S., Granger, S., Jeuffroy, M.-H., Pointurier, O., Queyrel, W., Rodriguez, A., Villerd, J., Colbach, N., 2020a. Co-development of a decision support system for integrated weed management: contribution from future users. *Eur. J. Agron.* 114, 126010.
- Colas, F., Queyrel, W., Van Inghelandt, B., Villerd, J., Colbach, N., 2020b. DeciFlorSys : un outil pour accompagner les agriculteurs dans la transition agroécologique. *Innovations Agronomiques* 81, 91-100.
- 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., 2006a. 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.
- Colbach, N., Chauvel, B., Messéan, A., Villerd, J., Bockstaller, C., 2020a. Feeding pollinators from weeds could promote pollen allergy. A simulation study. *Ecological Indicators* 117, 106635.
- Colbach, N., Colas, F., Cordeau, S., Maillot, T., Queyrel, W., Villerd, J., Moreau, D., 2021. The FLORSYS crop-weed canopy model, a tool to investigate and promote agroecological weed management. *Field Crops Research* 261, 108006.

- Colbach, N., Collard, A., Guyot, S.H.M., Mézière, D., Munier-Jolain, N.M., 2014. Assessing innovative sowing patterns for integrated weed management with a 3D crop:weed competition model. *Eur. J. Agron.* 53, 74-89.
- Colbach, N., Cordeau, S., Queyrel, W., Maillot, T., Villerd, J., Moreau, D., 2019. Du champ virtuel au champ réel - ou comment utiliser un modèle de simulation pour diagnostiquer des stratégies de gestion durables des adventices? *Agronomie, Environnement et Sociétés* 9, 111-128.
- Colbach, N., Dürr, C., 2003. Effects of seed production and storage conditions on blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and shoot elongation. *Weed Sci.* 51, 708-717.
- Colbach, N., Dürr, C., Roger-Estrade, J., Chauvel, B., Caneill, J., 2006b. ALOMYSYS: Modelling blackgrass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate - I. Construction. *Eur. J. Agron.* 24, 95-112.
- Colbach, N., Moreau, D., 2018. Les processus impliqués dans la dynamique démographique des communautés adventices en réponse aux systèmes de culture, in: Chauvel, B., Darmency, H., Munier-Jolain, N., Rodriguez, A. (eds.), *Gestion durable de la flore adventice des cultures*. Éditions Quae, pp. 59-79.
- Colbach, N., Moreau, D., Dugué, F., Gardarin, A., Strbik, F., Munier-Jolain, N., 2020b. The response of weed and crop species to shading. How to predict their morphology and plasticity from species traits and ecological indexes? *Eur. J. Agron.* 121, 126158.
- Dessaint, F., Chadoeuf, R., Barralis, G., 1997. Nine years' soil seed bank and weed vegetation relationships in an arable field without weed control. *Journal of applied Ecology* 34, 123-130.
- Fowler, D.B., Limin, A.E., Gusta, L.V., 1999. Low-temperature Tolerance in Cereals : Model and Genetic Interpretation. *Crop Science* 39, 626-633.
- Freckleton, R.P., Watkinson, A.R., 2002. Are weed population dynamics chaotic? *Journal of Applied Ecology* 39, 699-707.
- Gardarin, A., Colbach, N., 2015. How much of seed dormancy in weeds can be explained by seed traits? *Weed Res.* 55, 14-25.
- Gardarin, A., Dürr, C., Colbach, N., 2011. Prediction of germination rates of weed species: relationships between germination parameters and species traits. *Ecol. Modelling* 222, 626-636.
- Gardarin, A., Dürr, C., Colbach, N., 2012. Modeling the dynamics and emergence of a multispecies weed seed bank with species traits. *Ecol. Modelling* 240, 123-138.
- Gardarin, A., Dürr, C., Mannino, M.R., Busset, H., Colbach, N., 2010. Seed mortality in the soil is related to the seed coat thickness. *Seed Science Research* 20, 243-256.
- Hilhorst, H.W.M., 2014. The chemical environment in the soil seed bank, in: Gallagher, R.S. (ed.), *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*, 3rd edition. CABI, pp. 135-150.
- Hilhorst, H.W.M., Toorop, P.E., 1997. Review on dormancy, germinability, and germination in crop and weed seeds. *Advances in Agronomy* 61, 111-165.
- Hilhorst, H.W.M., 1995. A critical update on seed dormancy. I. Primary dormancy. *Seed Sci. Res.* 5, 61-73.
- Holland, J.M., 2004. The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture Ecosystems & Environment* 103, 1-25.
- Huang, H.-R., Yan, P.-C., Lascoux, M., Ge, X.-J., 2012. Flowering time and transcriptome variation in *Capsella bursa-pastoris* (Brassicaceae). *New Phytologist* 194, 676-689.
- Lonchamp, J.P., Chadoeuf, R., Barralis, G., 1984. Évolution de la capacité de germination des semences de mauvaises herbes enfouies dans le sol. *Agronomie* 4, 671-682.
- Mézière, 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, 157-170.
- Mohler, C.L., Galford, A.E., 1997. Weed seedling emergence and seed survival: separating the effects of seed position and soil modification by tillage. *Weed Res.* 37, 147-155.
- Moreau, D., Pointurier, O., Nicolardot, B., Villerd, J., Colbach, N., 2020. In which cropping systems can residual weeds reduce nitrate leaching and soil erosion? *Eur. J. Agron.* 119, 126158.

- Munier-Jolain, N.M., Collard, A., Busset, H., Guyot, S.H.M., Colbach, N., 2014. Investigating and modelling the morphological plasticity of weeds in multi-specific canopies. *Field Crops Research* 155, 90-98.
- 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.
- Naylor, R.E.L., 1972. Biological flora of the British isles. *Alopecurus myosuroides* Huds. *Journal of Ecology* 60, 611-622.
- Pointurier, O., Moreau, D., Pagès, L., Caneill, J., Colbach, N., 2021. Individual-based 3D modelling of root systems in heterogeneous plant canopies at the multiannual scale. Case study with a weed dynamics model. *Ecol. Modelling* 440, 109376.
- Pons, T.L., 2014. Light-mediated germination, in: Gallagher, R.S. (ed.), *Seeds: The ecology of regeneration in plant communities*, 3rd edition. CABI, pp. 111-134.
- Priestley, D.A., 1986. Seed Aging - Implications for seed storage and persistence in the soil. Comstock publishing associates, p. 304.
- Puricelli, E., Faccini, D., Orioli, G., Sabbatini, M.R., 2005. Seed survival and predation of *Anoda cristata* in soyabean crops. *Weed Res.* 45, 477-482.
- Scopel, A.L., Ballaré, C.L., Radosevich, S.R., 1994. Photostimulation of seed germination during soil tillage. *New Phytologist* 126, 145-152.
- Vleeshouwers, L.M., 1997. Modelling the effect of temperature, soil penetration resistance, burial depth and seed weight on pre-emergence growth of weeds. *Annals of Botany* 79, 553-563.
- Vleeshouwers, L.M., Kropff, M.J., 2000. Modelling field emergence patterns in arable weeds. *New Phytologist* 148, 445-457.