



HAL
open science

Réduire les herbicides sans perte de rendement

Nathalie Colbach, Stéphane Cordeau

► **To cite this version:**

Nathalie Colbach, Stéphane Cordeau. Réduire les herbicides sans perte de rendement. *Phytoma*, 2018, 717 (octobre), pp.8-12. hal-02618013

HAL Id: hal-02618013

<https://hal.inrae.fr/hal-02618013>

Submitted on 25 May 2020

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.

Réduire les herbicides sans perte de rendement

Selon des simulations basées sur des enquêtes terrain, des mesures préventives et curatives alternatives peuvent éviter la perte de rendement.

 **NATHALIE COLBACH ET STÉPHANE CORDEAU**, Agroécologie, Agrosup Dijon, Inra, université Bourgogne Franche-Comté - Dijon.

Dans le cadre de la réduction de l'usage d'herbicides demandée par les réglementations française et européenne, la gestion des adventices évolue. La flore adventice est un facteur de réduction de la production agricole (Cordeau *et al.*, 2016) mais elle est aussi un pilier de la biodiversité des paysages agricoles.

CoSAC : un projet pour la gestion durable des adventices

Cinq objectifs définis

Il est nécessaire de proposer des nouveaux systèmes agricoles qui permettent de concilier réduction d'usage des herbicides, maintien de la production et du revenu agricole et conservation de la biodiversité en grandes cultures. Dans ce but, le projet CoSAC (ANR-14-CE18-0007) regroupe des partenaires de la recherche et du développement afin :

- de quantifier et comprendre, à l'aide d'expérimentations, les effets de pratiques agricoles innovantes sur les adventices et le fonctionnement de l'agroécosystème ;
- de développer des outils prédisant les effets des pratiques agricoles et du pédoclimat sur la flore adventice ;
- d'utiliser ces outils pour concevoir des stratégies de gestion durable des adventices ;
- d'évaluer la durabilité globale de ces stratégies dans différents contextes de changement (pratiques agricoles, climat, biodiversité) ;
- de permettre l'adoption de ces stratégies innovantes par les agriculteurs.

Les pratiques culturales étant corrélées, elles ne peuvent pas être considérées séparément.

Interactions entre pratiques culturales

Dans ce contexte, la question des conséquences de la réduction de l'intensité d'usage des herbicides sur la flore adventice et la production agricole est cruciale. Cependant, les systèmes de culture des agriculteurs sont basés sur une combinaison de pratiques culturales (rotation, travail du sol, fertilisation, désherbage) raisonnées en fonction de l'ensemble de leurs objectifs. Ces pratiques sont souvent corrélées (ex. : l'usage de glyphosate est plus important en semis direct et TCS qu'en parcelle labourée) et interagissent entre elles. De ce fait, elles ne peuvent pas être considérées indépendamment.

Par conséquent, il est difficile de quantifier la nuisibilité des adventices pour la production agricole, ou l'influence des herbicides sur les adventices et la production, sans tenir compte des autres pratiques mises en œuvre par l'agriculteur.

L'objectif de notre étude était d'étudier ces relations à l'aide de simulations pour démêler les effets (Colbach *et al.*, 2017 ; Colbach et Cordeau, 2018, Eur. J. Agron.).

Expérimenter les pratiques des agriculteurs avec un modèle 272 systèmes de culture simulés

Les simulations ont été réalisées avec le modèle « parcelle virtuelle » FlorSys, qui simule la compétition pour la lumière entre plantes (qu'elles soient adventices ou cultivées), la dynamique de la flore adventice sur le long terme et son impact sur la production agricole et la biodiversité en fonction des systèmes de culture et du pédoclimat (Figure 1).

RÉSUMÉ

► **CONTEXTE** - Afin de concevoir des systèmes agricoles durables et économes en herbicides, il est indispensable de comprendre les relations entre usage d'herbicides, niveau d'infestation par les adventices et pertes de rendement. Comme les agriculteurs raisonnent l'utilisation des herbicides en fonction de la flore et de leurs

autres pratiques (ex. : travail du sol, date de semis, rotation), il est difficile d'évaluer ces relations directement en parcelles agricoles, tant les possibilités sont nombreuses.

► **ÉTUDE** - Notre étude a choisi de traiter la question via l'utilisation d'un modèle de simulation. Nous avons collecté et

simulé 272 systèmes de culture d'agriculteurs de sept régions avec la flore adventice typique de ces régions, puis sans aucune adventice, et enfin sans l'usage d'herbicides (et ce, sans changer les autres pratiques). Les résultats montrent que :

- la perte de rendement augmente avec la biomasse adventice ;

- aucune corrélation n'est observée entre IFT herbicide d'une part, biomasse adventice et perte de rendement d'autre part, car les agriculteurs compensent la réduction herbicide par des pratiques alternatives ou complémentaires ;
- la perte de rendement liée aux adventices augmente si

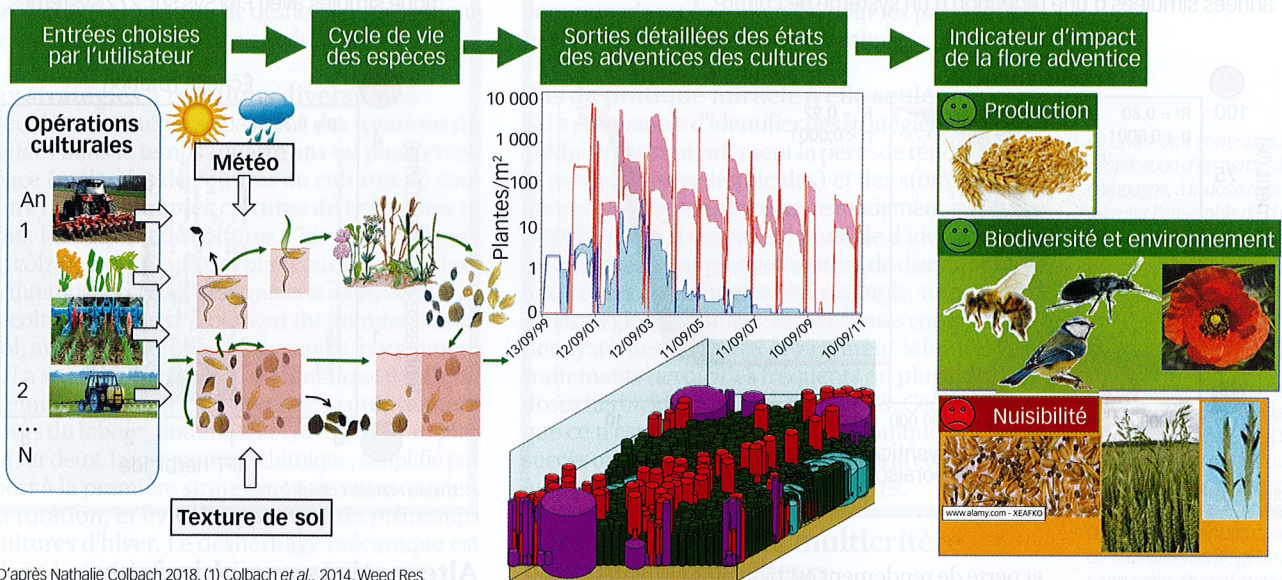
l'on supprime les herbicides dans les systèmes sans aucune autre modification ;

- les effets sont plus marqués à l'échelle pluriannuelle qu'à l'échelle annuelle.

► **MOTS-CLÉS** - Perte de rendement, IFT (indice de fréquence de traitement), herbicide, adventice, simulation, nuisibilité.

Fig. 1 : Architecture du modèle FlorSys

Ce modèle est une « parcelle virtuelle » où l'on peut tester des systèmes de culture à long terme, avec différentes flores adventices, conditions météo et types de sol⁽¹⁾. Les entrées fournies par l'utilisateur influent sur le cycle de vie des adventices et plantes cultivées dont la croissance et la dynamique sont simulées en 3D, avec un pas de temps journalier. Cette approche mécanistique produit des sorties détaillées pour comprendre l'effet et la performance des techniques et systèmes de culture. Pour comparer les systèmes de culture, ces sorties sont synthétisées sous forme d'indicateurs de l'impact de la flore adventice sur la production agricole, la biodiversité, etc.



Nous avons simulé 272 systèmes de culture de six régions françaises et une espagnole (Figure 2) à partir d'enquêtes en exploitation agricole, du réseau Biovigilance Flore⁽¹⁾, de chambres d'agriculture, de dires d'experts, etc. Le choix inclut des systèmes biologiques et conventionnels. L'intensité de travail du sol va du labour systématique au semis direct. Les rotations sont essentiellement basées sur des céréales (blé, orge, maïs) et du colza. Certaines comprennent aussi des légumineuses (luzerne, féverole, pois, etc.), des dicotylédones non légumineuses (tournesol, lin, etc.) et des prairies temporaires. Ces rotations varient bien évidemment entre régions.

Trente années de simulation

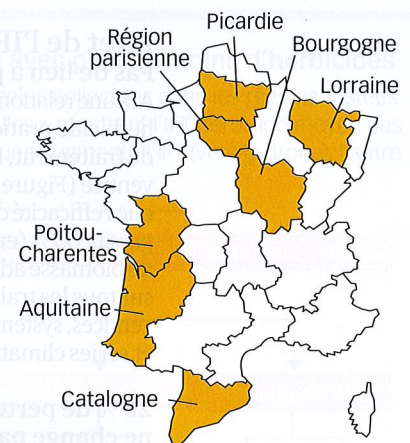
Chaque système de culture a été simulé sur trente ans pour évaluer leurs effets à long terme, en partant d'une flore adventice typique de ces régions (notamment en terme de composition), et répété dix fois avec différentes séries climatiques de sa région d'origine pour évaluer sa robustesse face aux aléas climatiques. Ensuite, tous les systèmes ont été simulés sans adventices. La différence de rendement simulé avec et sans adventices permet de calculer la perte de rendement due aux adventices.

Enfin, ces mêmes systèmes ont été simulés sans application herbicides (et sans autre changement de pratiques) pour estimer la perte de rendement due à la suppression des herbicides.

Les pratiques collectées ont été simulées sous forme de listes d'opérations fixes, et non pas sous forme de règles de décision déterminant les opérations en fonction de la flore adventice simulée dans une répétition climatique donnée. Ceci permet d'évaluer l'impact des pratiques sur les adventices et la production agricole, et non l'effet de l'évolution des adventices sur le changement de pratiques.

Fig. 2 : Régions où ont été réalisées les simulations de systèmes de culture

Des pratiques agricoles de 272 systèmes de culture ont été collectées dans six régions en France et une en Espagne, à partir d'enquêtes en exploitations agricoles, auprès du réseau de parcelles Biovigilance Flore, de conseillers agricoles, d'essais « système » de l'Inra, d'ateliers de conception de systèmes de culture, etc.



La biomasse adventice à l'origine d'une perte de rendement

Un lien fort, surtout à l'échelle de la rotation

La comparaison des simulations avec et sans adventices permet de calculer la perte de rendement due à la compétition avec les adventices pour la lumière en conditions exemptes de stress hydrique ou azoté. La perte de rendement annuelle médiane⁽²⁾ est de 36 % et augmente avec l'enherbement. Le meilleur indicateur « enherbement » de perte de rendement est le rapport de la biomasse adventice sur celle de la culture au début de sa floraison. Si la biomasse adventice dépasse celle de la culture (rapport > 1), la perte de rendement dépasse 50 % (Figure 3A page suivante). En revanche, aucune corrélation n'a pu être établie entre perte de rendement et densité de plantes d'adventices alors que c'est cette dernière qui est en général suivie sur le terrain. Le lien entre adventices

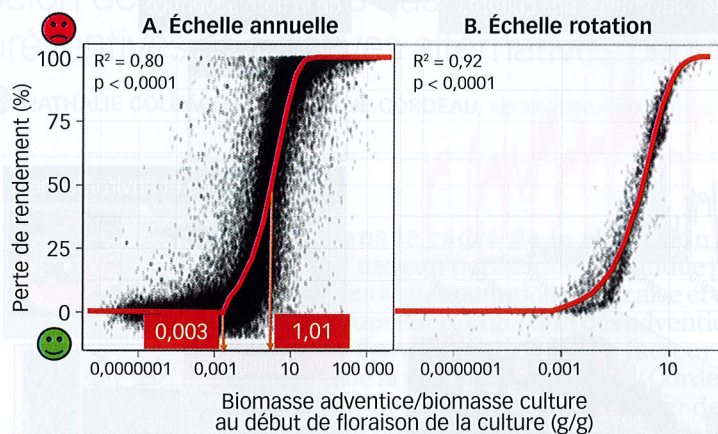
(1) Le réseau Biovigilance Flore des grandes cultures a été mis en place en 2002 sur la France métropolitaine afin de surveiller les changements de flore en lien avec l'évolution des pratiques agricoles.

(2) La médiane est comparable à la moyenne mais est moins sensible aux valeurs extrêmes. Il s'agit de la valeur excédant 50% des valeurs de l'échantillon et plus faible que les autres 50% de l'échantillon.

Fig. 3 : Effet de la biomasse d'adventices sur le rendement

Perte de rendement des cultures en fonction du rapport de la biomasse adventice sur celle de la culture au début de la floraison de la culture, simulées avec FlorSys sur 272 systèmes de culture de sept régions.

A. Échelle annuelle : un point = une année d'une répétition d'un système de culture. B. Échelle rotation : un point = moyenne sur l'ensemble des années simulées d'une répétition d'un système de culture.

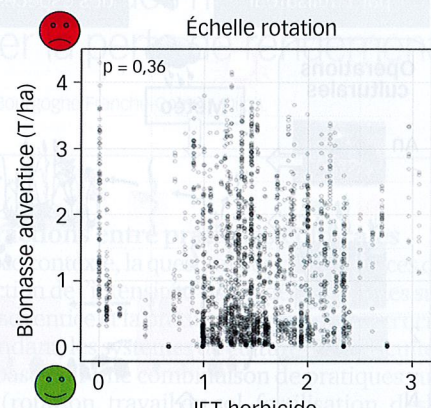


D'après Nathalie Colbach 2018

Fig. 4 : IFT herbicide et enherbement

L'enherbement n'est pas lié à l'intensité d'usage des herbicides : d'autres pratiques de désherbage entrent en compte.

Biomasse adventice et IFT herbicide moyens de chaque système de culture × répétition climatique simulés avec FlorSys sur 272 systèmes.



D'après Nathalie Colbach 2018

et perte de rendement est bien plus visible à l'échelle pluriannuelle ou de la rotation (Figure 3B) alors que la nuisibilité des adventices est souvent étudiée par des essais annuels (Cordeau *et al.*, 2016).

Effet de l'IFT herbicide

Pas de lien à première vue

Aucune relation n'est observée entre le niveau d'usage herbicide pratiqué (évalué via l'indice de fréquence de traitement, IFT⁽³⁾) et le rendement ou la flore adventice (Figure 4). Le fait est d'autant plus marquant que l'efficacité des herbicides dans les simulations dépassait 60% (en termes de réduction de biomasse adventice) en moyenne sur tous les traitements, espèces adventices, systèmes de culture, années et séries climatiques.

20% de perte en plus si l'on ne change pas les pratiques

Pour évaluer l'impact des herbicides, il faut comparer l'enherbement et le rendement entre les simulations avec et sans application d'herbicides. En moyenne, supprimer les herbicides sans autre changement de pratiques augmente la perte de rendement due aux adventices de 20%.

Cependant, les herbicides ne sont pas le seul facteur dont la suppression perturbe profondément le système. Si, au lieu des herbicides, on supprime le travail du sol sans reconcevoir le système de culture, la perte de rendement augmente encore davantage, en moyenne de plus de 40%. Il ne faut pas interpréter l'usage d'herbicide (IFT herbicide, dorénavant IFTH) en oubliant les autres pratiques : la réduction (ou retrait) de pratiques-clés de gestion des adventices, herbicides ou travail du sol, doit être compensée par des pratiques alternatives sous peine d'aggraver la perte de rendement.

Les trois meilleures stratégies sont basées sur des approches très différentes.

Alternatives non chimiques

Travail du sol, désherbage mécanique

L'absence de lien entre enherbement et IFTH n'est en fait pas surprenant. En effet, les agriculteurs prennent des mesures compensatoires s'ils réduisent l'usage d'herbicides (Figure 5). Par exemple, cet usage est plus faible dans les systèmes incluant un travail du sol en hiver au moins un an sur trois (IFTH = 1,3) que si le sol est rarement travaillé en hiver (IFTH = 2,1). La fréquence de désherbage mécanique est également cruciale. L'IFTH varie de 0,2 dans les systèmes à plus de 0,7 opération de désherbage mécanique par an (moyenne sur la rotation) à 1,3 dans les systèmes à désherbage mécanique plus rare. À noter : dans certaines situations, les agriculteurs peuvent avoir tendance à « sur-assurer » par rapport aux expérimentateurs, conseillers et chercheurs : une demie à une dose d'herbicide de plus par an.

Concilier contrôle de l'enherbement et faible IFT herbicide

En monoculture de maïs

Enfin, nous avons analysé la performance des systèmes de culture pour identifier, parmi les pratiques agricoles collectées, les combinaisons de techniques permettant de réduire simultanément la perte de rendement liée aux adventices et le niveau d'usage herbicides (tableau p. 12). Les trois meilleures stratégies se basent sur des approches très différentes. La première rassemble des monocultures de maïs avec du travail du sol superficiel à la fois en été et en hiver, sans labour ou avec labour au plus un an sur deux. Le premier travail est retardé d'au moins trois semaines par rapport à la récolte du précédent. S'il y a passages de rouleau, ils sont espacés à la fois de la récolte du précédent et du semis du suivant.

Le programme herbicide est similaire d'une année à l'autre. Plusieurs produits sont appliqués par an à dose réduite, privilégiant les systémiques et évitant les racinaires⁽⁴⁾. Les doses réduites entraînent un risque majeur de développement de résistance aux herbicides à long terme, amoindri ici par le mélange de produits et les passages de désherbage mécanique en fréquence variable d'une année à l'autre.

Deux stratégies à rotations diversifiées

La deuxième stratégie se base sur des rotations diversifiées dans le temps (quatre ans ou plus) et/ou l'espace (mélanges de cultures ou cultures de couverture), combinant les cultures de printemps et d'hiver. Il s'agit soit de cultures d'hiver très longues (ex. : colza), soit de cultures plus courtes (d'hiver ou de printemps) précédées de couverts intermédiaires. La récolte est suivie rapidement du premier travail du sol, avec des opérations fréquentes, notamment l'été. La stratégie de roulage est identique à celle de la première stratégie. Les systèmes comprennent toujours du labour, notamment l'hiver, mais au plus un an sur deux. Le programme chimique, simplifié par rapport à la première stratégie, varie entre années, vu la rotation, et évite les passages de printemps en cultures d'hiver. Le désherbage mécanique est similaire à celui de la première stratégie. La troisième stratégie va encore plus loin dans la diversification des rotations en incluant des prairies

temporaires, aux dépens des cultures de couverture. Les intercultures nues sont plus longues et le travail du sol très fréquent, notamment l'été. Les systèmes sont tous labourés au moins une année sur trois en hiver, au moins deux mois avant le semis. Il y a toujours du rouleau, après récolte et avant semis. Aucun point commun n'a pu être identifié pour les programmes herbicides ou désherbage mécanique.

Pas de pratique miracle à elle seule

S'il a été possible d'identifier des stratégies gagnantes (réduisant simultanément la perte de rendement et le niveau d'usage herbicides) et des stratégies perdantes (augmentant la perte de rendement ou l'usage d'herbicides), il n'a pas été possible d'identifier une ou quelques pratiques permettant de discriminer les deux types de stratégies. Par exemple, tout comme les stratégies gagnantes, les perdantes comprennent des systèmes labourés et rarement labourés, des traitements herbicides fréquents ou plus rares, des doses herbicides réduites ou pleines. Ceci confirme que ce n'est pas un seul choix technique qui fait le succès ou l'échec d'un système, mais la combinaison judicieuse de toutes ses composantes.

**Vers une approche multicritère
Des résultats prometteurs**

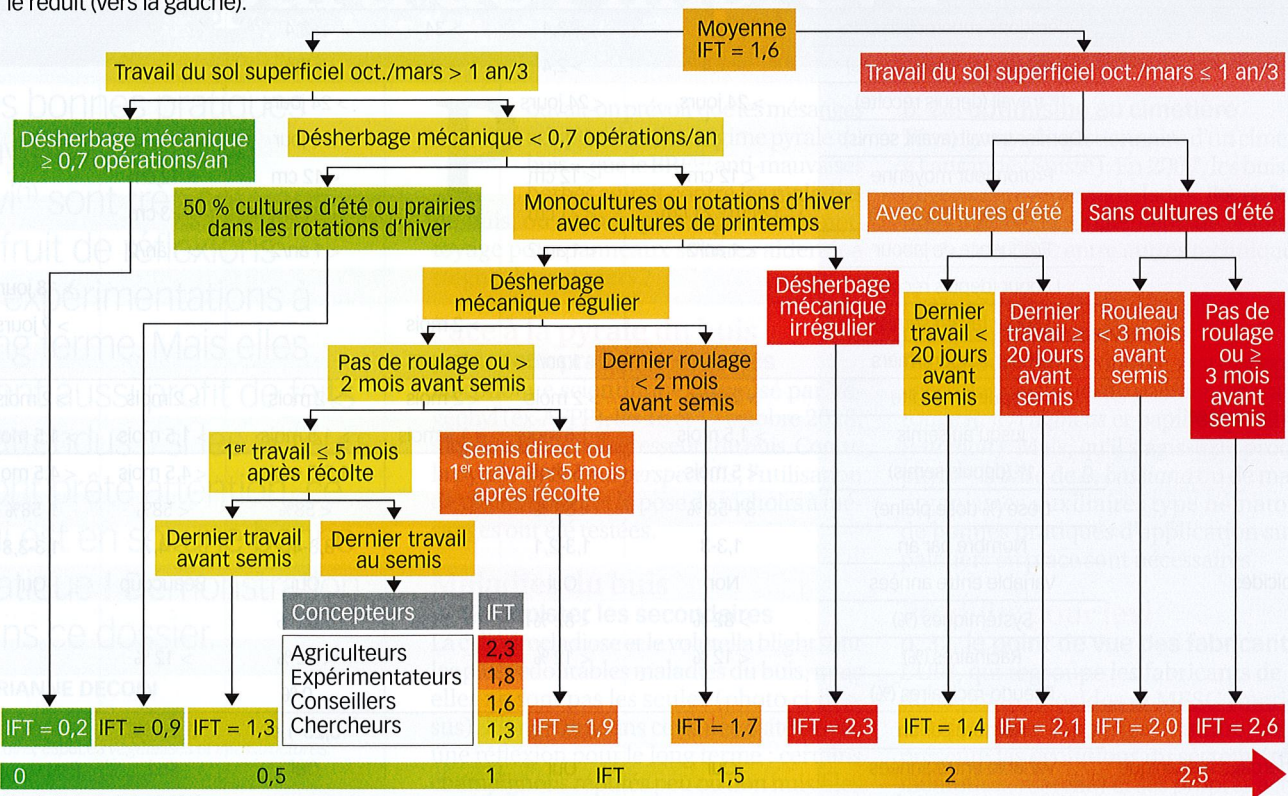
Cette analyse des pratiques agricoles de plusieurs régions contrastées suggère qu'il est possible de concier

(3) Un IFT de 1 correspond à l'application d'un herbicide par campagne, à la dose réglementaire sur l'ensemble du champ.

(4) Les herbicides foliaires pénètrent dans la plante via les parties émergées et ne détruisent que des plantes levées au jour du traitement. Les herbicides racinaires pénètrent via les racines ; ils persistent pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines, et détruisent les plantes (levées ou non) dont les racines se situent dans les horizons superficiels du sol. Les herbicides pseudo-racinaires sont également persistants ; ils sont étalés à la surface du sol et détruisent les adventices lors de leur levée.

Fig. 5 : Des combinaisons de pratiques permettent de gérer les adventices avec plus ou moins d'herbicides

Déterminants non chimiques du niveau d'usage herbicide (IFT) parmi les pratiques agricoles collectées dans les régions testées. Les « branches » de cet arbre montrent des combinaisons de pratiques culturales, les « feuilles » montrent l'IFT herbicide moyen des systèmes de culture correspondants. Chaque nœud sépare une branche en deux options : une augmente l'IFT (vers la droite), l'autre le réduit (vers la gauche).




D'après Nathalie Colbach 2018

lier production agricole et faible usage herbicide, à condition de mettre en œuvre différents types de combinaisons de pratiques agricoles. Ce dernier point est crucial pour que les agriculteurs puissent choisir la ou les stratégies les plus adaptées aux objectifs et contraintes de leur exploitation. La liste des stratégies identifiées ici n'est pas exhaustive. Elle est basée sur la seule analyse des conséquences de la flore adventice, négligeant d'autres facteurs biotiques et abiotiques. Nous poursuivons ce travail dans le cadre du projet CoSAC, en explorant une plus grande gamme de pratiques agricoles, en cherchant les solutions conciliant

production agricole, faible IFTH et conservation de la biodiversité, en réalisant des évaluations multicritères incluant aussi la rentabilité économique des systèmes et en évaluant la robustesse des stratégies face au changement climatique.

POUR EN SAVOIR PLUS

-  **CONTACT** : Nathalie.Colbach@inra.fr
- LIEN UTILE** : www.projet-cosac.fr
-  **BIBLIOGRAPHIE** : la bibliographie de cet article (5 références) est disponible auprès de ses auteurs (contact ci-dessus).

Typologie de systèmes de culture en fonction de leur performance en termes de réduction de la perte de rendement due aux adventices et de réduction du niveau d'usage herbicides

Les trois meilleurs et les trois pires types identifiés parmi les 272 systèmes de la Figure 2 sont évalués à partir des performances simulées à l'aide de FlorSys. Une case blanche signifie qu'il n'y a pas de point commun entre systèmes de la stratégie pour la technique en question.

		Les trois meilleures stratégies			Les trois pires stratégies		
Performances <i>(1) Échec = perte de rendement > 40 % ou IFT > 1,6 en moyenne sur la rotation.</i>	Perte de rendement	< 10 % et	< 20 % et	< 20 % et	> 40 % ou	> 40 % ou	> 40 % ou
	IFT herbicide	< 0,8	< 0,8	< 1,2	> 1,6	> 1,6	> 1,6
	Risque d'échec ⁽¹⁾	0 %	0 %	0 %	83 %	85 %	89 %
Rotation	Cultures d'hiver (%)	0 %	25-75 %	15 %-64 %	> 11 %		
	Cultures de printemps (%)	100 %	25-75 %	> 36 %	< 88 %		
	Prairies temporaires (%)	0 %	< 20 %	> 20 %	< 20 %	< 20 %	< 20 %
	Nombre de cultures et variétés	1	> 4		> 1		
	Durée de la couverture (/an)	< 6 mois	> 8,3 mois	< 8 mois			
Semis des cultures...	... d'hiver				> 12 septembre		
	... de printemps				> 4 avril		
Variabilité dans les dates de récolte					> 25 jours	> 25 jours	< 25 jours
Récolte des cultures de printemps					> 19 octobre		> 14 août
Travail du sol	Opérations superficielles/an	< 3,4	> 3,4	> 34	< 3,4		
	En été/an (avril/septembre)	< 2,4	> 2,4	> 2	< 2,4		
	1 ^{er} travail (depuis récolte)	> 24 jours	< 24 jours		> 24 jours		
	Dernier travail (avant semis)				> 1 jour		
	Profondeur moyenne	< 12 cm	< 12 cm		< 12 cm	> 12 cm	
	Profondeur maximale	12 cm - 21 cm	< 21 cm		< 21 cm	> 23 cm	
	Fréquence de labour	< 1 an/2	< 1 an/2		< 1 an/2	> 1 an/2	
	Labour (depuis récolte)						> 18 jours
	Labour (avant semis)			> 2 mois			> 9 jours
Date du roulage	Labour octobre/mars		> 1 an/5	> 1 an/3			
	Depuis la récolte	> 2 mois	> 2 mois	< 2 mois	> 2 mois	> 2 mois	> 2 mois
	Jusqu'au semis	> 1,5 mois	> 1,5 mois	< 1,5 mois	> 1,5 mois	> 1,5 mois	> 1,5 mois
Herbicides	1 ^{er} (depuis semis)	< 5 mois	< 5 mois		1,5-5 mois	< 4,5 mois	< 4,5 mois
	Dose (% dose pleine)	31-58 %	< 58 %		< 58%	< 58%	> 58%
	Nombre par an	1,3-3	1,3-2,1		3,8-4,7	> 4,7	1,3-3,8
	Variable entre années	Non	Oui		Oui	Beaucoup	Oui
	Systémiques (%)	> 82 %	< 82 %	< 83 %	> 82 %		
	Racinaires (%)	< 12 %	< 12 %		< 12 %	> 12 %	
	Pseudo-racinaires (%)				~ 0 %		
Désherbage mécanique	Nombre par an	0,25-1,6	0,25-1,6		0,25-1,6	0,25-1,6	< 0,25
	Variable entre années	Oui	Oui		Oui	Oui	Peu ou non
	Dernier (avant récolte)						> 4,5 mois