



HAL
open science

Concevoir l'arrêt de l'utilisation du glyphosate dans des systèmes en semis direct et une réduction de l'utilisation des herbicides sur des systèmes en semis direct sous couvert permanent

Adeline Michel, Stéphane Cordeau, Bruno Chauvel, Florian Fremont,
Pierre-Yves Bernard, Simon Pesquet, Guillaume Adeux

► To cite this version:

Adeline Michel, Stéphane Cordeau, Bruno Chauvel, Florian Fremont, Pierre-Yves Bernard, et al.. Concevoir l'arrêt de l'utilisation du glyphosate dans des systèmes en semis direct et une réduction de l'utilisation des herbicides sur des systèmes en semis direct sous couvert permanent. *Innovations Agronomiques*, 2024, 94, pp.141-154. 10.17180/ciag-2024-vol94-art10 . hal-04590951

HAL Id: hal-04590951

<https://hal.inrae.fr/hal-04590951v1>

Submitted on 28 May 2024

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

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



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



Concevoir l'arrêt de l'utilisation du glyphosate dans des systèmes en semis direct et une réduction de l'utilisation des herbicides sur des systèmes en semis direct sous couvert permanent

Adeline MICHEL¹, Stéphane CORDEAU^{2,3}, Bruno CHAUVEL^{2,3}, Florian FREMONT⁴, Pierre-Yves BERNARD⁵, Simon PESQUET¹, Guillaume ADEUX²

¹ Cerfrance Normandie Maine, Le Magellan, 32 rue du Quadrant, 14123 Fleury sur Orne, France

² Agroécologie, INRAE, Institut Agro, Université de Bourgogne, Université de Bourgogne Franche-Comté, 17 rue Sully, BP 86510, 21000 Dijon cedex, France

³ RMT GAFAd – Réseau Mixte Technologique Gestion Agroécologique de la Flore Adventice, 6 chemin de la côte vieille, 31450 Baziège, France

⁴ Fédération des Cooperative d'Utilisation de Matériel Agricole Normandie Ouest, Comité Calvados, 14930 Maltot, France

⁵ Unité AGHYLE, équipe Agroécologie, UniLaSalle, Campus de Rouen, 76451 Mont Saint Aignan, France

Correspondance : amichel@nm.cerfrance.fr

Résumé

Le semis direct sous couvert permanent constitue un système ambitieux visant à favoriser une couverture permanente du sol. Dans un contexte qui prévoyait un retrait du glyphosate, le projet CASDAR ENGAGED (2018-2022) a réuni autour d'agriculteurs normands, différents acteurs agricoles pour un projet qui visait à 1/ réaliser une veille technique sur les alternatives à l'utilisation du glyphosate, 2/ réaliser une expérimentation au champ d'itinéraires techniques sur un réseau de parcelles d'agriculteurs et 3/ concevoir une reconception du système en atelier avec agriculteurs et conseillers. Si la veille technique a permis d'identifier des pratiques innovantes pendant les périodes de culture et d'interculture, les essais au champ ont testé des itinéraires techniques comme le broyage du couvert, l'augmentation de la densité de semis de la céréale cultivée et la réduction de l'utilisation des herbicides adaptés. La reconception en atelier a permis, à travers des travaux d'élèves ingénieurs et d'ateliers avec des conseillers, de confronter les agriculteurs à des situations de rupture plus fortes que celles engagées sur leur ferme. Le projet ENGAGED a montré que le cadre de contrainte basé sur une forte réduction de l'utilisation des herbicides, ne permet pas d'obtenir des rendements équivalents à ceux d'une conduite conventionnelle. Le couvert devient alors la première adventice responsable de fortes pertes de rendement et peu de solutions techniques viables ont été identifiées sur une seule année culturale.

Mots-clés : glyphosate, semis direct, couverture permanente, gestion de la flore adventice, co-conception, réflexion pédagogique

Abstract: Conceiving the end of glyphosate use in direct seeding systems and reduction of herbicide use in direct seeding systems under permanent cover.

Direct seeding under permanent cover is an ambitious farming system that aims to promote permanent soil cover. With glyphosate set to be withdrawn, the CASDAR ENGAGED project (2018-2022) brought together a number of agricultural stakeholders working with farmers in Normandy Region on a project that aimed to 1/ conduct a technical survey on alternatives to glyphosate use, 2/ conduct field trials of technical practices on a network of farmers' plots, and 3/ redesign the system in a workshop with farmers and advisors. While technical monitoring enabled innovative practices to be identified during the cropping and



intercropping periods, field trials tested technical routes such as shredding the cover crop, increasing the sowing density of the cereal crop and reducing the use of appropriate herbicides. Through the work of students and workshops with extension agents, the workshop-based redesign enabled farmers to face situations involving greater change than those they had undertaken on their own farms. The ENGAGED project showed that the framework of restrictions, based on a drastic reduction in herbicide use, does not make it possible to achieve yields equivalent to conventional management. The cover crop then becomes the main weed responsible for major yield losses and few viable technical solutions have been identified for a single crop year.

Keywords: glyphosate, no-tillage, permanent cover, weed control, co-conception, pedagogical method

1. Introduction

Le semis direct sous couvert végétal (SDVC) est un système agricole conçu dans un objectif de respect de la santé des sols et qui est basé sur l'application de trois pratiques agronomiques : une réduction drastique des perturbations du sol, la mise en place d'une couverture végétale la plus présente possible et une diversification maximale des espèces cultivées. Ces trois piliers de l'agriculture de conservation) impliquent des modifications majeures dans le fonctionnement agronomique et écologique des parcelles cultivées. Malgré des pratiques destinées à limiter le développement de la flore adventice, la gestion malherbologique repose actuellement en grande partie sur le désherbage chimique avec l'utilisation de substances actives à pénétration foliaire, dont le glyphosate. Car sans ce contrôle chimique, les espèces adventices et le couvert pérenne peuvent engendrer une concurrence sur la culture et des pertes de rendement dues notamment au phénomène de compétition pour l'énergie lumineuse (Carof, 2006 ; Carof *et al.*, 2007 ; Cordeau *et al.*, 2015) et les ressources en eau et éléments nutritifs. Aussi, le SDCV est en l'état des connaissances actuelles dans une impasse technique en cas d'interdiction de l'utilisation du glyphosate (Reboud *et al.*, 2017).

Dans la perspective d'une interdiction annoncée de l'usage du glyphosate, l'ARAD² du Cerfrance Normandie Maine, en partenariat avec l'UMR Agroécologie (INRAE), la fédération des Cuma Normandie Ouest et l'école d'ingénieurs UniLaSalle Campus de Rouen, a mené, à la demande d'agriculteurs en système SDCV, le projet CASDAR ENGAGED de 2018 à 2022. Ce projet avait pour objectif de construire des prototypes de systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal vivant ou permanent, sans utilisation de glyphosate et économes en herbicides (Indice de Fréquence de Traitement en herbicide inférieur à 1). Pour cela, il a été couplé trois approches :

- Une veille technique sur les alternatives au glyphosate permettant de gérer le couvert pérenne
- L'expérimentation au champ dans un réseau de parcelles d'agriculteurs
- La re-conception en atelier avec des agriculteurs et conseillers via des travaux d'élèves ingénieurs et des journées de re-conception entre acteurs du terrain.

En concertation avec les agriculteurs du projet, deux stratégies de gestion de la couverture végétale ont été étudiées notamment par une analyse des effets de ces stratégies sur la dynamique des adventices. Par ailleurs, afin de dépasser le cadre des situations expérimentées, des ateliers de co-conception ont été conduits. Ils ont permis d'esquisser des prototypes de systèmes en SDCV sans glyphosate. Cette re-conception a également mobilisé des élèves ingénieurs en fin de cursus de formation initiale en agronomie dans le cadre d'un module pédagogique spécifiquement conçu pour le projet. Enfin, une évaluation économique et du temps de travail de deux prototypes de système a été simulée, en comparaison avec le système SDCV avec glyphosate.



2. Dynamique des adventices sous l'effet d'itinéraires techniques alternatifs à l'usage de glyphosate en SDCV

2.2. Dispositif expérimental

Deux stratégies de gestion de la couverture végétale ont été testées sur blé d'hiver :

- Substituer le glyphosate par une stratégie chimique impliquant d'autres substances actives herbicides en période d'interculture
- Augmenter l'effet compétitif de la culture sur le couvert et la flore adventice en doublant sa densité de semis du blé (densité classique à 300 graines/m² ; forte densité à 600 graines/m²).

Pour la première stratégie, la gestion « témoin » consiste en une application de glyphosate (groupe HRAC¹⁹ ; 1,5 L/ha) adjuvé. Pendant la phase cultivée, deux applications d'herbicides sont réalisées : thifensulfuron-méthyle/metsulfuron-méthyle (groupe HRAC 2 ; 0,005 kg/ha), tribénuron-méthyle (groupe HRAC 2 ; 0,016 kg/ha) et pinoxaden + cloquintocet-méxyl (groupe HRAC 1 ; 1,2 L/ha). La substitution chimique du glyphosate a été réalisée par l'utilisation du dicamba (groupe HRAC 4 ; 0,25 L/ha) appliqué à la mi-octobre avec ou sans broyage préalable du couvert, suivie dans certaines modalités d'une application de florasulame (groupe HRAC 2 ; 0,064 L/ha) dans la culture de blé.

Pour la seconde stratégie qui étudie la pression de compétition du blé, trois modalités ont été mises en place : témoin traité au glyphosate à l'automne et blé semé à 300 grains/m², modalité sans glyphosate et semée aussi à 300 grains/m² et modalité sans glyphosate semée à 600 grains/m².

Les mesures sont similaires pour les différentes années d'expérimentation et ont permis d'évaluer :

- La proportion de couverture des sols par les adventices, les débris végétaux morts (mulch), le couvert vivant, le blé et le sol nu
- La richesse spécifique et la densité des adventices
- Le développement du blé, du couvert et des adventices grâce à une évaluation de la biomasse aérienne
- L'impact des modalités sur les composantes de rendement du blé (nombres de pieds, de talles et d'épis)

Deux campagnes de relevés de flore ont été menées fin novembre et mi-février. Pour chaque campagne, dix relevés par modalité ont été réalisés grâce à l'utilisation de quadrats (0,36 m²) posé aléatoirement dans la longueur de la modalité (50 m de long). Le pourcentage d'occupation dans la zone délimitée est estimé visuellement pour les adventices, le mulch, le couvert vivant, le blé et le sol nu.

L'évaluation de la richesse spécifique et de la densité pour chacun des quadrats est complétée par une battue réalisée sur chaque modalité dans l'objectif de capter le plus grand nombre d'espèces.

Pour les mesures de biomasses aériennes, quatre campagnes de relevés ont été menées : novembre, février, avril et juin. Pour chaque campagne, quatre relevés ont été effectués par modalité. Les quadrats sont utilisés pour délimiter une zone dans laquelle est prélevé l'ensemble de la biomasse végétale. Cette biomasse est ensuite séparée en trois catégories : blé, couvert et adventices. Pour chacune de ces catégories, la biomasse fraîche est pesée sur le terrain. Puis une portion est prélevée pour être séchée à l'étuve pendant au moins 48 h à 80 °C afin de déterminer la biomasse sèche.

¹ Herbicide Resistance Action Committee, comité de classification des herbicides en fonction de la substance active selon leur mode d'action.



2.3. Résultats

2.3.1. Substitution chimique du glyphosate

Pour la stratégie de substitution chimique, si la flore adventice a été correctement contrôlée dans tous les systèmes, la problématique observée a porté sur la régulation du couvert de trèfle blanc (Figure 1) avec deux phases critiques : l'implantation du blé et la reprise de végétation du trèfle.

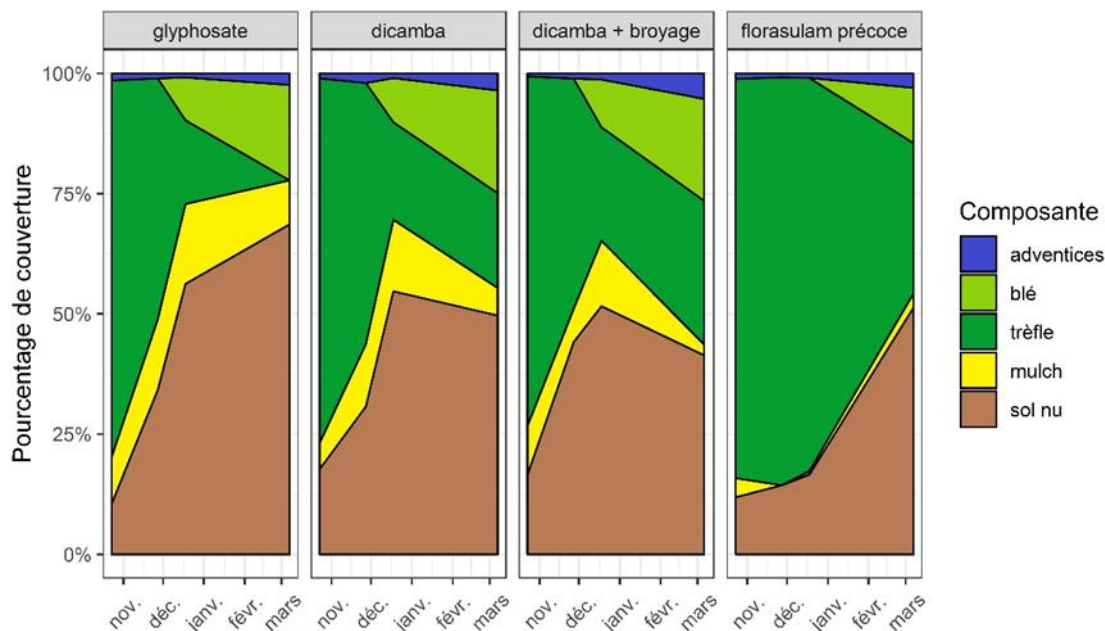


Figure 1 : Évolution de la proportion de recouvrement du sol (à quatre dates de mesure entre novembre et mars), en fonction du mode de gestion. Cinq composantes de recouvrement de sols sont observées : sol nu, mulch (matériel végétal mort), trèfle (couvert végétal), blé (culture) et adventices

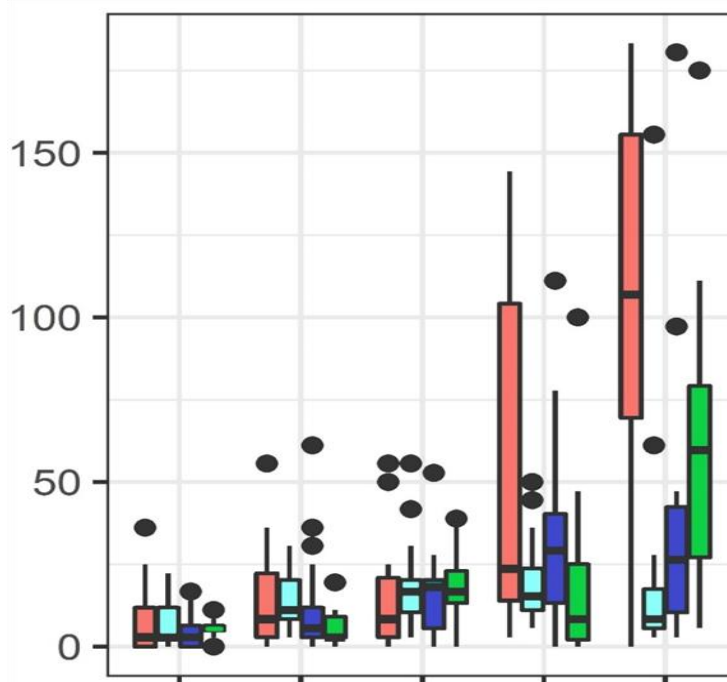


Figure 2 : Densité de plantes adventices (plantes/m²) suivant les pratiques de désherbage sur les cinq dates de relevés de flore (rouge : glyphosate, bleu clair : dicamba ; bleu foncé broyage + dicamba, vert : florasulame précoce)



Globalement, le système « glyphosate » a permis un contrôle satisfaisant du couvert jusqu'à la récolte en favorisant le développement de la culture en début de cycle. La substitution chimique par le dicamba (action limitée aux dicotylédones adventices) ou l'absence de gestion chimique pendant l'interculture n'a pas offert une régulation suffisante de la flore (Figure 2) et du couvert ce qui s'est traduit au final par une réduction des rendements de plus de 20 q/ha (Tableau 1).

Tableau 1 : Valeur des IFT et du rendement en fonction du mode de gestion, ici, en fonction de l'herbicide utilisé.

DESHERBAGE PRECOCE	GLYPHOSATE	DICAMBA	BROYAGE + DICAMBA	FLORASULAME POST-PRECOCE
IFT herbicide	2,47	2,38	2,38	1,87
Rendement (q/ha)	88,8	66,4	54,5	54,6

Toutefois, les IFT herbicides sont restés élevés au cours de l'année culturale. Le contrôle « glyphosate » a la valeur la plus élevée (2,47). Les alternatives testées ont mobilisé des niveaux herbicides (de 1,87 à 2,38) trop élevés par rapport à l'objectif fixé au départ.

Dans les conditions de cette expérimentation, il est apparu qu'une régulation trop faible du couvert au moment du semis de la culture était très fortement préjudiciable au développement de la céréale cultivée qui n'est pas parvenue à s'établir correctement.

2.3.2. Augmentation de la densité de semis du blé

La flore adventice a été contrôlée de façon satisfaisante, avec une efficacité maximale dans le témoin glyphosate. En absence de la substance active, l'augmentation de la densité de blé (600 grains/m²) a favorisé un meilleur contrôle de la flore adventice (Figure 3).

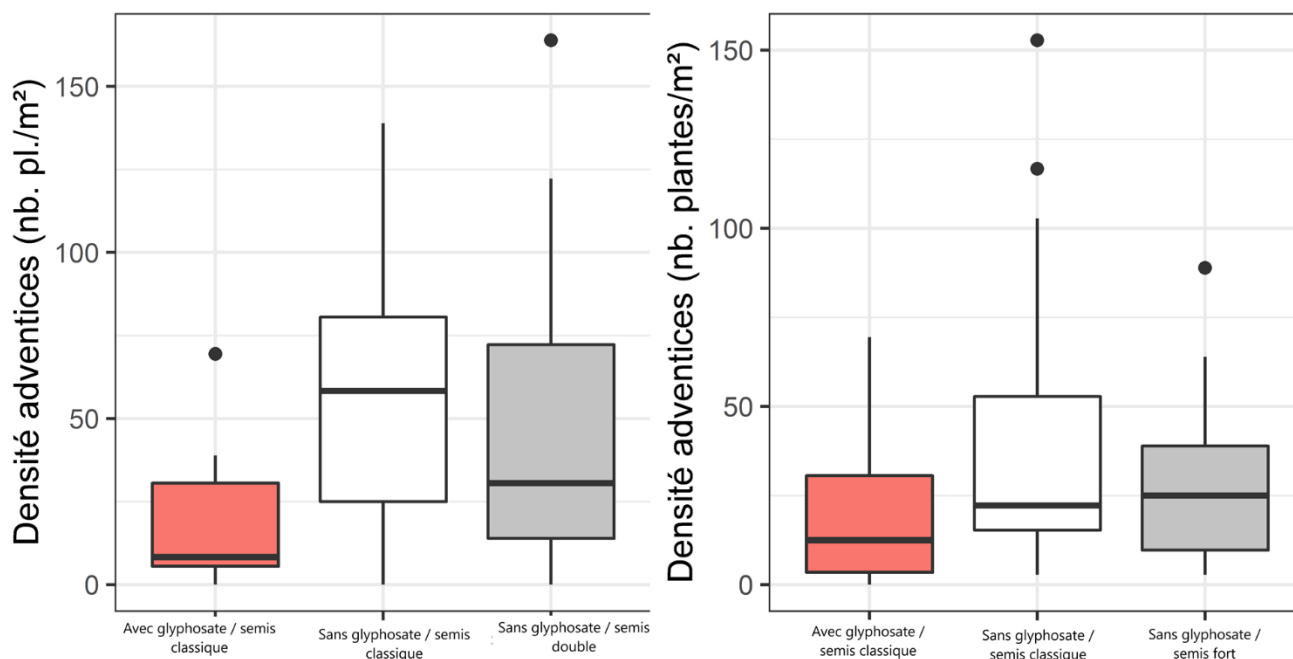


Figure 3 : Densité de plantes adventices (plants/m²) suivant les pratiques de gestion (rouge : avec glyphosate ; blanc : sans glyphosate semis à densité classique 300 gr/m² ; gris : sans glyphosate, semis à forte densité 600 gr/m²)

C'est dans la modalité témoin avec glyphosate que l'on a observé la meilleure régulation du couvert de trèfle entre le mois d'octobre (Figure 4a) et le mois de février (Figure 4b).

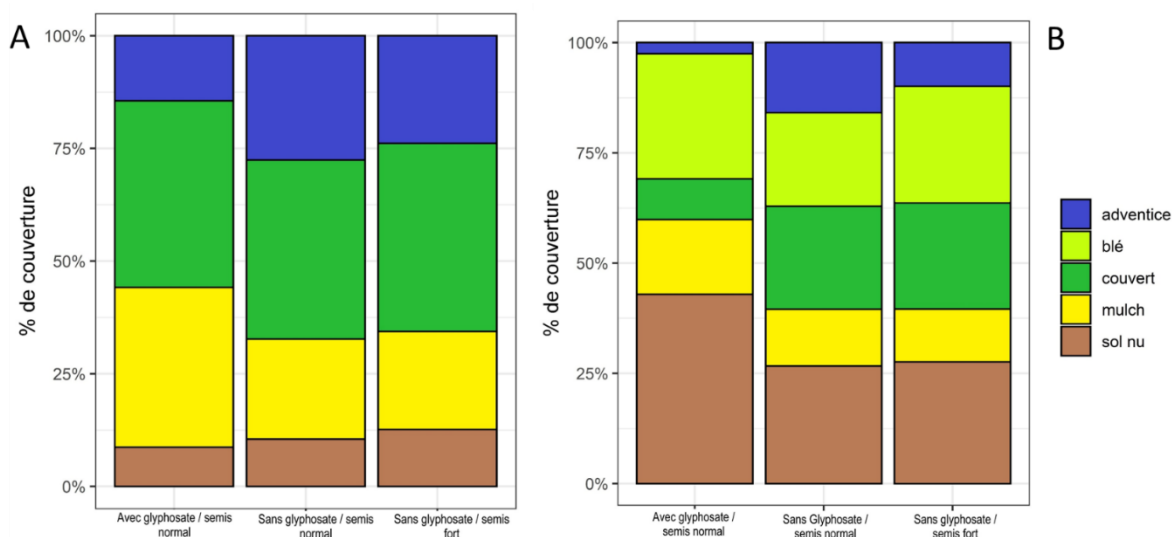


Figure 4 : Évolution du pourcentage de couverture du sol (A : en octobre avant semis ; B sortie hiver) en fonction de 3 modalités de gestion du couvert. "Avec glyphosate / semis normal", modalité témoin avec application de glyphosate et semis de 300 grains/m² ; "Sans glyphosate / Semis normal", sans traitement au glyphosate et semis de 300 grains/m² ; "Sans glyphosate / semis fort", sans traitement au glyphosate et semis de 600 grains/m².

Le pourcentage de couverture de trèfle (Figure 4) n'a été que peu influencé par le renforcement du couvert de blé.

Les trois modalités ont présenté un rendement similaire avec des IFT herbicide inférieurs à 1,2 en situation sans glyphosate, ce qui était plus proche des objectifs de départ (Tableau 2). Sans être totalement satisfaisante, l'idée d'une compétition accrue de la culture a pu être développée.

Tableau 2 : Valeur des IFT et du rendement en fonction du mode de gestion, ici, en fonction de l'application ou non de glyphosate en amont du semis et de la densité de semis du blé.

DESHERBAGE PRECOCE	AVEC GLYPHOSATE SEMIS NORMAL	SANS GLYPHOSATE SEMIS NORMAL	SANS GLYPHOSATE SEMIS FORT
IFT herbicide	1,44	1,11	1,11
Rendement (q/ha)	51,2	39,3	48,5

L'augmentation de la densité de la culture de rente, ici le blé, pourrait donc constituer une piste potentielle pour maximiser la compétition sur les adventices et a semblé, dans les conditions de l'étude, pouvoir limiter aussi le développement du trèfle blanc.

3. Construction d'un module pédagogique de co-conception à destination des élèves ingénieurs

3.1. Déroulé du module pédagogique

Durant les trois années du projet, les étudiants ont été mobilisés sur une semaine afin de reconcevoir un système de culture de référence chez des agriculteurs normands pratiquant l'agriculture de conservation et intéressés par les enjeux du projet ENGAGED.

La démarche pédagogique a reposé sur trois étapes successives :

- Présentation du projet CASDAR et des ressources disponibles, ainsi que du système de production et du système de culture de référence sur la base d'un tour de plaine avec l'agriculteur

- Conduite d'ateliers de co-conception par petit groupe d'environ cinq étudiants durant cinq demi-journées (soit 20 h de travail) avec un point d'étape intermédiaire avec un animateur (ingénieur ARAD2) et l'appui d'un enseignant en agronomie (UniLaSalle Rouen).
- Restitution orale en présence de l'agriculteur et de tous les étudiants puis production d'un document de synthèse.

La co-conception mobilise les connaissances scientifiques et techniques des étudiants ainsi que diverses ressources nécessaires pour le travail d'évaluation des performances agronomiques, économiques et environnementales du système de culture reconçu. Le travail de reconception implique la prise en compte du cadre de contraintes fixés par le projet ENGAGED.

3.2. Résultats

Nous présentons ici, à titre d'exemple, un système de culture reconçu par un groupe d'étudiants en décembre 2021. L'exploitation se situait dans le sud de l'Eure avec une orientation grandes cultures et production de volailles. Le système de culture de référence reposait sur trois cultures principales : colza, blé tendre d'hiver et orge d'hiver. L'agriculteur pratiquait le semis direct sous couvert permanent de luzerne. Les sols étaient majoritairement des limons moyennement profonds et les potentiels de rendements étaient considérés comme bons, avec des « moyennes olympiques » de 79 q/ha et 36 q/ha respectivement pour le blé et le colza. Les attentes de l'agriculteur étaient une tolérance de baisse de rendement de moins de 10 % et une attention particulière à porter à la maîtrise des adventices dont, en particulier, le ray-grass (*Lolium spp.*).

Les étudiants ont proposé un nouveau système de culture basé sur une rotation culturale de cinq ans gardant le colza en tête de rotation, deux blés et incluant deux nouvelles cultures de printemps, l'orge de printemps et le tournesol et la succession de trois couverts différents (encadrés en rouge) (Figure 5).

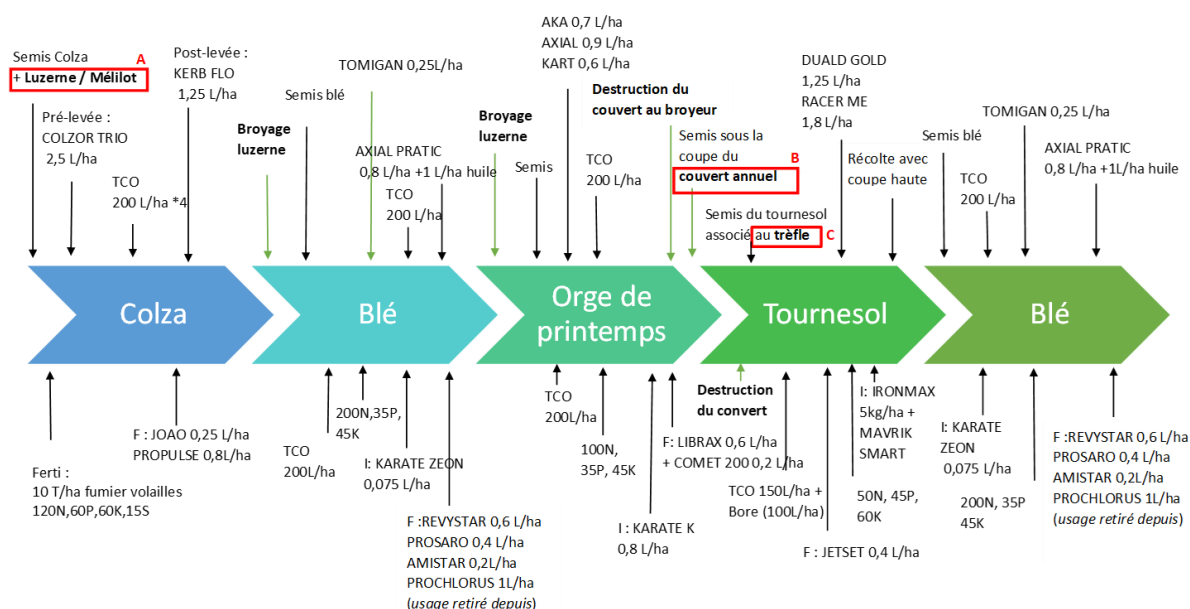


Figure 5 : Exemple d'un schéma décisionnel simplifié conçu par un groupe d'étudiants (sur la base du système de culture de référence d'un agriculteur de l'Eure) ; F : traitement fongicide ; I : traitement insecticide ; TCO : apport de thé composté oxygéné (Debreu *et al.*, 2022)

Un premier couvert pluriannuel de luzerne et méliot est implanté lors du semis du colza. La luzerne est contrôlée par des fauches et broyages puis détruite mécaniquement au bout de trois ans. Un couvert annuel composé de moutarde blanche, phacélie, radis chinois et seigle est implanté à la suite en août.



Ce couvert relais est détruit mécaniquement quinze jours avant le semis du tournesol en association avec un couvert pluriannuel de trèfle violet. Après deux ans, le trèfle sera détruit après le second blé.

L'insertion de deux cultures de printemps et l'alternance des couverts visait à limiter autant que possible le développement de la flore adventice et à réduire le recours à la lutte chimique, avec des IFT herbicide compris entre 0,7 et 1,5 selon les cultures, donc proches des objectifs assignés à la re-conception. Les IFT fongicide ont également été baissés afin de tenir compte du souhait de l'exploitant de développer des pratiques alternatives (emploi de thé composté oxygéné).

D'autres indicateurs ont été calculés afin d'évaluer *a priori* les performances du système de culture, notamment du point de vue économique avec le calcul de marges brutes des différentes cultures. Celles-ci ont été comparées aux résultats d'un groupe de référence fournis par le Cerfrance.

4. Evaluation économique et du temps de travail de prototypes de systèmes de culture

4.1. Matériels et méthode

Les trois systèmes prototypés étudiés sont des systèmes en semis direct sous couvert permanent en système céréalière :

- Système 1 : Rotation de trois ans Colza/Blé/Orge d'hiver avec utilisation de glyphosate
- Système 2 : Rotation de trois ans Colza/Blé/Orge d'hiver sans utilisation de glyphosate et mise en place de d'alternatives : double densité de semis en blé, deux broyages, modulation de la régulation chimique du couvert en culture
- Système 3 : Rotation de cinq ans (avec un IFT herbicide annuel qui tend vers 1) Colza/Blé/Orge de printemps/Tournesol/Blé avec double densité de semis en blé, deux à trois broyages selon les cultures, mise en œuvre du fauchage andainage sur blé (obj réduire le nombre de graines d'adventices viables au moment de la récolte).

Pour chaque système, à l'échelle de la rotation, ont été évalués la marge brute avec mécanisation ainsi que le temps de travail, en tenant compte de :

- Trois scénarios de prix de vente et de coût d'intrants (sauf phytosanitaires)
 - o S1 : prix bas semences et fertilisation ; prix bas vente
 - o S2 : prix haut semences et fertilisation ; prix élevé vente
 - o S3 : prix haut semences et fertilisation ; prix bas vente
- L'impact d'une solution collective (CUMA intégrale-matériels performants) sur les charges de mécanisation

Les hypothèses de coûts des engrais et produits phytosanitaires et de prix de vente utilisées pour les simulations sont présentées dans les Tableaux 3 et 4.

Les coûts des différents chantiers incluant matériels et main d'œuvre sont issus du guide des prix de revient CUMA ouest 2021 et des travaux ARPIDA réalisés en 2020. Dans cette étude, il s'agit majoritairement de coûts issus de comptabilités 2019 et 2020. Les débits de chantier peuvent également varier de façon importante. Il s'agit ici de temps machine en fonctionnement au champ. Dans le calcul du temps de travail, ont été ajoutés 20 % de main d'œuvre. Ce temps de travail global ne tient pas compte de tous les temps morts sur la route ou sur l'exploitation, sauf chantiers spécifiquement orientés transport.

**Tableau 3** : Prix des produits phytosanitaires

Produit	Type	Substance active herbicide	Dose	Unité
GLYPHOSATE	H	glyphosate	10	€/L
ALLIE	H	metsulfuron-méthyle	380	€/kg
BOFIX	H	MCPA * fluroxypyr * clopyralid	12,5	€/L
CHALLENGE	H	aclonifène	23,5	€/L
DEFI	H	prosulfocarbe	15	€/kg
FOSBURI	H	diflufénican * flufenacet	70	€/L
KERB	H	propyzamide	25	€/kg
NOVAL	H	métazachlore * quinmérac	24	€/kg
STARANE	H	fluoroxypyr	27	€/kg
PROPULSE	F	prothioconazole * fluopyram	35	€/L
REYSTAR	F	Fluxapyroxade * méfentrifluconazole	30	€/L
PROSARO	F	trifloxystrobine* prothioconazole	42,8	€/L
LAMBDASTAR	I	lambda-cyhalothrine	60	€/L

Tableau 4 : Prix des engrais, des semences et des prix de vente appliqués pour les trois scénarios

	€/un	€/un	€/un	€/un	€/un	18-46	
	N 33	P - super 45	K - KCl60	Soufre 50% (kiésérite)	Octoborate Bore 21%	18	46
S1 Prix bas intrants et cultures	0,75	0,55	0,33	0,5	40,00	1,0	0,65
S2 Prix hauts intrants et cultures	2,5	1,80	0,75	1,1	70,00	5,00	2,00
S3 Prix hauts intrants et bas cultures	2,5	1,80	0,75	1,1	70,00	5,00	2,00

	Semences €/kg							
	Blé	Orge h	Orge p	Colza	Tournesol	Trèfle blanc	Trèfle violet	Luzerne
S1 Prix bas intrants et cultures	0,7	0,4	0,35	22	0,5	5	4	5
S2 Prix hauts et cultures	0,8	0,75	0,7	25	0,7	6	5	6
S3 Prix hauts intrants et bas cultures	0,8	0,8	0,7	25	0,7	6	5	6

	€/T	€/T	€/T	€/T	€/T
	Blé	Px Oh	Px Op	Px Co	Px To
Prix bas intrants et cultures	170	170	250	340	280
Prix hauts intrants et cultures	300	300	400	600	650
Prix hauts intrants et bas cultures	170	170	250	340	280

4.2. Résultats

4.2.1. Présentation des trois prototypes

Le système de culture témoin avec glyphosate est une rotation colza/blé tendre d'hiver/orge d'hiver dont les itinéraires techniques sont présentés dans le Tableau 6. Le couvert permanent de trèfle est implanté avec le colza et perdure tout au long de la rotation. Le glyphosate est utilisé pour réguler le couvert et gérer les adventices en interculture. Pour ce système, l'IFT herbicide est de 5,6 à l'échelle de la rotation. Les rendements sont 40 quintaux/ha pour le colza, 80 q/ha pour le blé et 75 q/ha pour l'orge d'hiver.

**Tableau 6** : Itinéraires techniques du système témoin « rotation 3 ans avec glyphosate »

	COLZA	BLE	ORGE D'HIVER
Semis	3 kg/ha	300 gr/m ²	300 gr/m ²
Fertilisation	180 unités d'azote 170 unités de soufre 2 à 3 kg de bore	180 unités d'azote 40 unités de potassium 50 unités de phosphore 50 unités de soufre	160 unités d'azote 40 unités de potassium 50 unités de phosphore
Protection	Avant semis : 1L de glyphosate Noval 1,2 L/ha Kerb 1,875 Lambdastar 0,075 L/ha Propulse 1 L/ha	Avant semis : 1L de glyphosate Fosburi 0,6 L/ha + Défi 2L/ha Allié 5 g/ha Lambdastar 0,075 L/ha Revystar 1,5 L/ha + Prosaro 0,6 L/ha	Avant semis : 1L de glyphosate Fosburi 0,6 L/ha + Défi 2L/ha Allié 5 g/ha Destruction couvert : Bofix 1 L/ha Lambdastar 0,075 L/ha Revystar 1,5 L/ha + Prosaro 0,6 L/ha
Passages de matériels	1 passage semoir à disque pour couvert 1 passage semoir direct à dent 3 passages d'épandeur à engrais 5 passages de pulvérisateur Moissonneuse + livraison	1 broyage couvert 1 passage semoir à disque 3 passages d'épandeur à engrais 6 passages de pulvérisateur Moissonneuse + livraison	1 broyage couvert 1 passage semoir à disque 3 passages d'épandeur à engrais 5 passages de pulvérisateur Moissonneuse + livraison

Pour le système de culture 2, la rotation est inchangée et les itinéraires sont pour partie adaptés à l'absence du glyphosate. Le glyphosate est ainsi remplacé par un passage supplémentaire de broyage et une dose d'herbicide en culture supplémentaire au printemps pour réguler le couvert (0,2 L de starane). Pour compenser le risque de compétition entre le couvert et la culture, la densité de blé a été doublée (600 g /m²) et celle de l'orge d'hiver est à 500 g/m². L'IFT herbicide est de 5,3 sur la rotation soit 1,8 par an en moyenne.

Pour le système de culture 3, la principale différence avec le système précédent est l'allongement de la rotation à 5 cultures : colza, blé, orge de printemps, tournesol et blé. Un couvert de trèfle violet est semé à 8 kg/ha avec le tournesol comme relais du couvert de trèfle blanc. Les itinéraires techniques de l'orge de printemps, du tournesol et du second blé sont présentés dans le tableau 7. L'IFT herbicide est de 6,03 sur la rotation soit 1,2 par an en moyenne et se rapproche de l'objectif de 1 visé par le projet ENGAGED.


Tableau 7 : Itinéraires techniques du système 3 « rotation 5 ans sans glyphosate »

	Orge de printemps	Tournesol	BLE
Semis	500 gr/m ²	80 kg/ha	600 gr/m ²
Fertilisation	60 unités d'azote 40 unités de potassium 50 unités de phosphore	50 unités d'azote 35 unités de potassium 35 unités de phosphore 15 unités de soufre 2 à 3 kg de bore	160 unités d'azote 40 unités de potassium 50 unités de phosphore
Protection	Axial pratic 0,9L/ha Starane 0,2L/ha Destruction couvert : Bofix 1 L/ha	Novall 1,2L/ha + Challenge 1L/ha	Fosburi 0,5 L/ha Allié 5 g/ha Starane 0,2 L/ha Revystar 1,5 L/ha + Prosaro 0,6 L/ha
Passages de matériels	1 passage semoir direct à disque 3 passages d'épandeur à engrais 5 passages de pulvérisateur 3 broyages Moissonneuse + livraison	1 passage semoir à disque 3 passages d'épandeur à engrais 5 passages de pulvérisateur Moissonneuse + livraison	1 broyage couvert 1 passage semoir à disque 3 passages d'épandeur à engrais 5 passages de pulvérisateur 1 fauchage andainage Moissonneuse + livraison

4.2.2. Comparaison des marges brutes moyennes des trois systèmes prototypés.

Sous hypothèse de maintien des rendements, on a observé une dégradation de la marge brute annuelle avec la suppression du glyphosate entre le système 1 et 2 et ce quel que soit le scénario de simulation (Figure 6). Cela pouvait s'expliquer par un nombre plus important de passages et des coûts de semences plus élevés (double densité). L'introduction de cultures de printemps pour allonger la rotation (système 3) a permis de maintenir voire d'améliorer la marge mais uniquement sous condition de maintien de niveau de rendement.

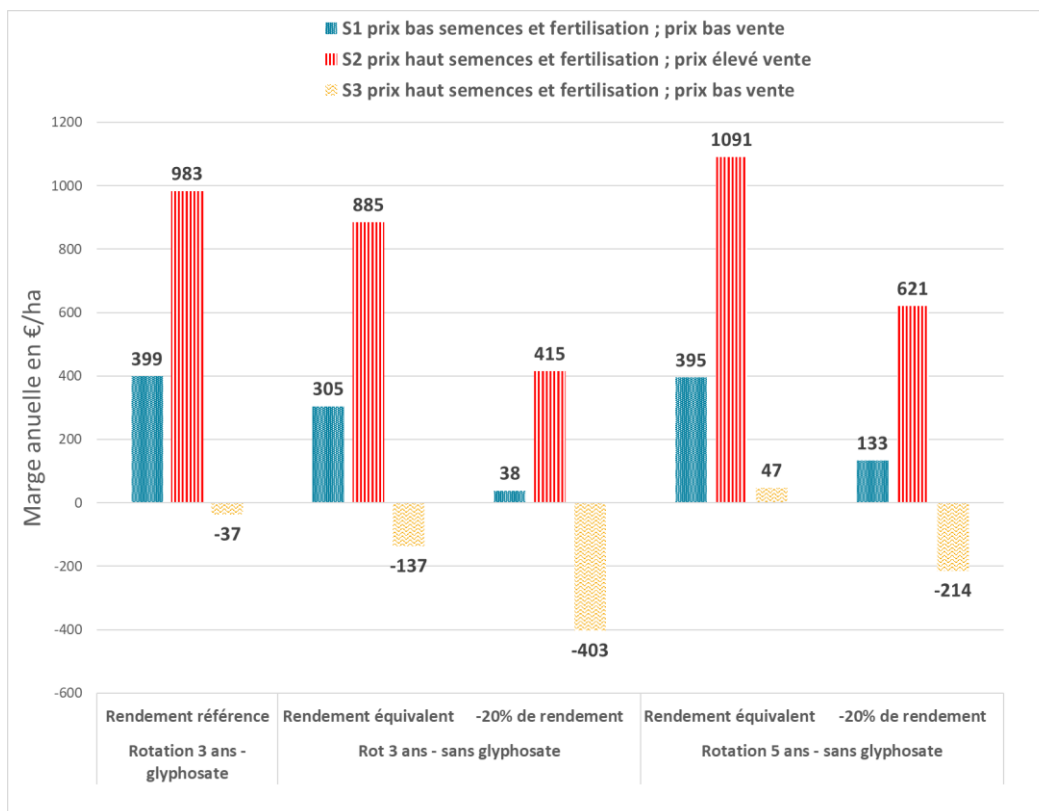


Figure 6 : Comparaison des marges brutes annuelles des trois systèmes prototypés (rotation 3 ans avec utilisation de glyphosate, rotation 3 ans sans utilisation de glyphosate et rotation 5 ans sans utilisation de glyphosate) suivant les 3 scénarios et sous deux hypothèses de rendement (maintien et perte de 20 %)

Les simulations ont également montré que la substitution du glyphosate par les techniques alternatives testées entraînait une augmentation du temps de travail et du poids de la mécanisation dans les charges ce qui s'expliquait notamment une multiplication de passages de broyeur. Dans l'hypothèse de réduction du rendement, le recours à une CUMA intégrale n'a toutefois permis de réduire que partiellement l'impact sur les marges des charges de mécanisation. L'enjeu restait bien la maîtrise du couvert permanent pour limiter la compétition et donc les pertes de rendement de la culture principale.

5. Discussion et conclusions

Le projet ENGAGED montre que le cadre de contrainte fixé (absence de travail du sol, couverture permanente, pas de recours au glyphosate et limitation de l'utilisation des herbicides pendant la période de cultures) ne permet pas d'obtenir des rendements de blé équivalents à ceux d'une conduite conventionnelle. En effet, dans de telles conditions, le couvert devient la première adventice responsable de perte de rendement et peu de solutions techniques viables ont été identifiées à l'échelle annuelle pour la gestion du couvert.

Par ailleurs, les simulations de trois systèmes de culture prototypés montrent qu'une simple substitution du glyphosate par des techniques alternatives annuelles entraîne une réduction de la marge brute à l'échelle de la rotation, et ce quel que soit le scénario de prix étudié. L'allongement de la rotation avec l'introduction de cultures de printemps semble par contre permettre de maintenir voire d'améliorer la marge mais sous hypothèse de maintien du rendement. Or, les essais montrent une perte de rendement pouvant atteindre jusqu'à 20 %. Il est donc impératif de parvenir à réduire la compétition entre le couvert et la culture d'intérêt. De nombreux points techniques restent encore à préciser comme le choix des espèces et variétés de couvert avec la recherche d'une couverture suffisante du sol pour réguler les



adventices tout en limitant la compétition pour la culture de rente. L'introduction de méthodes de gestion non chimiques du couvert comme les possibilités techniques de broyage d'inter-rang avec un plus large écartement de la culture sont autant de solutions que des agriculteurs pourraient sélectionner et améliorer en fonction de leur besoin et du contexte de leur parcelle.

A noter que les trois scénarios de simulation ne couvrent pas l'intégralité des situations de prix que peuvent rencontrer les agriculteurs. Et pour l'analyse des coûts de mécanisation, les données datent de 2019 et 2020. Or, le contexte actuel fait évoluer rapidement à la hausse le coût des matériels (inflation et taux d'intérêt), si bien qu'il y a aujourd'hui une très forte disparité dans les coûts de facturation. Il serait donc intéressant de refaire ces calculs avec des données plus actualisées. D'autres hypothèses pourraient également être testées : nouveaux scénarios de prix, remplacement du tournesol par le maïs, appel à une entreprise de travaux agricoles... Ce travail pourrait également évaluer l'impact sur d'autres indicateurs comme le revenu disponible ou la répartition des chantiers en fonction des jours agronomiquement disponibles.

Ainsi, dans des systèmes récemment mis en place, où l'arrêt du glyphosate n'est testé que depuis un an avec des situations malherbologiques non dégradées et dans des contextes de bons potentiels de rendement comme ceux expérimentés, une re-conception profonde du système doit être la solution envisagée. Toutefois, le projet ENGAGED a confirmé la forte aversion au risque des agriculteurs en particulier vis-à-vis de l'augmentation potentielle du stock de graines d'adventices, ce qui peut représenter un frein au test de pratiques en rupture. Le module d'enseignement a permis, grâce au travail réalisé avec les étudiants, d'apporter de nouvelles réflexions, sans *a priori*, aux agriculteurs et aux partenaires du projet et d'explorer des possibilités non abordées auparavant. Cet exercice de co-conception en atelier a aussi été très profitable aux étudiants dans leur apprentissage grâce à la compréhension par l'usage des outils et démarches de l'agronomie systémique. La mise en commun des connaissances, la confrontation aux objectifs et contraintes de l'agriculteur, la justification des choix techniques, la réflexion systémique sur la cohérence et la robustesse d'un système de culture innovant, ainsi que l'évaluation, même partielle, des performances économiques et environnementales, représentent un ensemble de compétences fondamentales pour de futurs agronomes confrontés aux nécessités et difficultés de la transition agroécologique des systèmes de production agricole. De plus, si la construction d'une activité de co-conception en atelier adaptée à des fins pédagogiques n'est pas nouvelle, le fait de rendre des étudiants acteurs d'un projet CASDAR et de considérer leurs productions comme des sources d'inspiration pour des professionnels semble représenter une démarche innovante et intellectuellement stimulante pour tous.

Ethique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données qui étayent les résultats évoqués dans cet article sont accessibles sur demande auprès de l'auteur de correspondance de l'article.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.



Contributions des auteurs

Tous les auteurs et autrices ont lu et approuvé le manuscrit final.

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Les membres du projet tiennent à remercier tous les agriculteurs impliqués qui ont accueilli volontairement les essais sur leurs parcelles. Est aussi remercié l'ensemble des stagiaires, Théo Serghereart (UniLasalle Rouen), Eliott Lacour (Institut Agro Rennes-Angers) et Corisande Douay (UniLasalle Rouen) dont le travail sur le terrain a permis la collecte et le traitement des données, ainsi que les étudiants des promotions 2014, 2015, 2016 et 2017 d'UniLasalle Rouen ayant contribué aux notations terrain et aux ateliers de co-conception.

Déclaration de soutien financier

Le projet ENGAGED a été financé à 80 % par des fonds issus de l'appel à projet « Innovation et partenariat » du Compte d'Affectation spécial Développement Agricole et Rural et à 20 % par les structures impliquées dans le projet.

Références bibliographiques :

Carof M., 2006. Fonctionnement de peuplements en semis direct associant du blé tendre d'hiver (*Triticum aestivum* L.) à différentes plantes de couverture en climat tempéré. *Institut National Agronomique Paris-Grignon*, Paris.

Carof M., Tourdonnet S., Saulas P., Floch D., Roger-Estrade J., 2007. Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. II. Competition for light and nitrogen. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 357-365.

Cordeau S., Guillemain J.-P., Reibel C., Chauvel B., 2015. Weed species differ in their ability to emerge in no-till systems that include cover crops. *Annals of Applied Biology* 166, 444-455.

Debreu U., Hardelay M., Marien J., Paul A., 2022. Projet ENGAGED. 13 pages (non publié).

Reboud X., Blanck M, Aubertot J.- N., Jeuffroy M.-H., Munier-Jolain Ni., Thiollet-Scholtus M., Huyghe C. 2017. Usage et alternatives au glyphosate dans l'agriculture française. *Rapport Inra à la saisine Ref TR507024*.



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

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