



Maîtriser les adventices dans le blé par un couvert permanent de légumineuse dans un système en semis direct sous couvert végétal géré sans glyphosate : quelques enseignements du Casdar Engaged

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

* *Atelier Régional d'Agronomie et de Développement Durable, Cerfrance Normandie Maine, Caen, France*

** *Agroécologie, AgroSup Dijon, INRAE, Univ. de Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, Dijon, France*

*** *Unité AGHYLE, équipe Agroécologie, UniLaSalle, Campus de Rouen, France*

**** *Fédération des CUMA Normandie Ouest, Comité Calvados, Caen, France*

Résumé

Parmi les systèmes en agriculture de conservation, le semis direct sous couvert végétal a pour objectif de maintenir, tout au long de la rotation, un couvert permanent de légumineuses dans laquelle l'agriculteur viendra semer en direct ses cultures. Parmi les objectifs visés, ce couvert doit notamment permettre de gérer les adventices. Pour cela, il est nécessaire qu'il soit suffisamment développé pour avoir un effet compétitif vis-à-vis des adventices. Toutefois, trop développé, il peut également rentrer en compétition avec la culture principale et impacter le rendement. Dans le cadre du projet ENGAGED, deux leviers pour atténuer l'effet de compétition sur le blé ont été identifiés : l'augmentation de la densité de semis du blé et une régulation chimique raisonnée au printemps. Les deux années d'expérimentation menés sur des parcelles d'agriculteurs ont montré qu'une forte augmentation de la densité de semis de blé permet un contrôle des adventices comparable au glyphosate en sortie hiver, à rendement de blé assez proches. Il semble également possible de réduire la dose utilisée lors de la régulation du couvert au printemps mais des études complémentaires sont nécessaires. Ces résultats ont été jugés encourageants par les agriculteurs expérimentateurs mais pas suffisants pour envisager une généralisation de cette pratique sur l'ensemble de leurs parcelles, compte tenu du risque de non maîtrise d'adventices à moyen terme. D'autres pistes restent à explorer comme par exemple la régulation mécanique du couvert permanent.

Abstract

Among the conservation agriculture systems, the objective of direct seeding under plant cover is to maintain, throughout the rotation, a permanent cover of leguminous plants in which the farmer will sow his crops directly. One of the objectives of this cover crop is to manage weeds. To do this, it must be sufficiently developed to have a competitive effect on weeds. However, if it is too developed, it can also compete with the main crop and impact on yield. Within the framework of the project ENGAGED, two levers to mitigate the effect of competition on wheat were identified : increasing the sowing density of wheat and a reasoned chemical control in spring. The two years of experimentation conducted on farmers' plots have shown that a high increase in wheat seeding density provides weed control comparable to glyphosate at the end of winter, with a similar wheat yield. It also seems possible to reduce the amount used during spring cover control but further studies are needed. These results were considered encouraging by the farmers who experimented,

but not sufficient to consider a generalisation of this practice on all their plots, in view of the risk of not controlling weeds in the medium term. Other avenues remain to be explored, such as the mechanical regulation of permanent cover.

Introduction

L'agriculture de conservation (AC) repose sur trois piliers : (1) une absence de labour et une réduction du travail du sol pouvant aller jusqu'à la pratique du semis direct, (2) une couverture des sols par des végétaux vivants, résidus ou mulch, et (3) une rotation basée sur une diversité des espèces culturales. Le semis direct sous couvert végétal (SDCV) pousse le concept plus loin en essayant de conserver un couvert de légumineuses pérennes (par ex. lotier, luzerne, trèfle) à la fois en interculture et durant le cycle des cultures, et ce tout au long de la rotation. L'enjeu pour les agriculteurs est de disposer, en période d'interculture, d'un couvert permanent produisant suffisamment de biomasse pour fournir de nombreux services comme la captation de l'azote, la protection des sols, la fourniture de nectar à des pollinisateurs... sans le resemer chaque année (Justes & Richard, 2017). Ce couvert permanent est également mis en place dans une optique de gestion de la flore adventice (Cordeau et Moreau, 2017).

En effet, dans les systèmes en AC, l'absence de labour induit une profonde modification de la composition et de la stratification du stock semencier du sol (Barberi & Lo Cascio, 2001 ; Cordeau et al., 2020), et donc de la composition de la communauté d'adventices. En effet, on observe généralement une augmentation de la richesse et de l'abondance spécifique des adventices et une hétérogénéité des communautés qui diminue avec le nombre d'années (Derrouch et al., 2021 b). Les graines à la surface du sol n'étant plus enfouies, elles ont plus de chance de se décomposer ou d'être prédatées (Petit et al., 2017). On retrouve davantage d'espèces vivaces, géophytes, privilégiant le maintien des organes souterrains d'une année à l'autre plutôt que la production de graines (Cordeau et al., 2020 ; Derrouch et al., 2021 a). L'absence de labour favorise également la mésofaune, notamment les vers de terre qui agissent comme prédateurs ou disperseurs de graines, et influence donc la composition du stock semencier présent dans le sol (Forey et al., 2011). Si les couverts végétaux permanents ont été actuellement peu étudiés, de nombreux travaux ont démontré les avantages des couverts en interculture dans la gestion des adventices. Ainsi, ils permettraient de réduire l'abondance spécifique, la fréquence d'apparition et le développement des adventices par la modification des conditions de germination, la compétition et l'effet allélopathique potentiel (Buchanan et al., 2016 ; Cordeau & Moreau, 2017).

Si la présence d'un couvert végétal permanent est un levier de gestion des adventices dans les systèmes SDCV, il peut également réduire le rendement de la culture de vente. Ainsi, une méta-analyse (Verret et al., 2017) montrait qu'un couvert de légumineuses en plante compagne entraînait une biomasse d'adventices plus faible et un rendement plus élevé (situation gagnant-gagnant) que les traitements témoins non désherbés ou désherbés, dans 52 % et 36 %, respectivement, des cas expérimentaux considérés et un rendement plus faible (situation perdante-perdante) respectivement dans 13 % et 26 % des cas. Cette potentielle réduction de rendement est principalement due au phénomène de compétition pour l'énergie lumineuse entre les espèces du couvert et la culture de vente (Carof et al., 2007). La compétition peut aussi être souterraine. Les nutriments, l'eau et l'espace pour la croissance de racines sont autant de ressources nécessaires à la bonne croissance de la culture de vente (Casper & Jackson, 1997 ; Zimdahl, 2004). Les espèces cultivées doivent donc être choisies et gérées avec soin afin de supplanter les mauvaises herbes mais de limiter la concurrence avec la culture et les pertes de rendement.

Aujourd'hui, afin de limiter cette compétition, les agriculteurs régulent le couvert permanent en période d'interculture. Dans les systèmes SDCV mis en œuvre dans les exploitations, cette régulation repose essentiellement sur l'utilisation, avant le semis de la culture, de l'herbicide glyphosate dont l'usage est aujourd'hui fortement remis en cause. Afin de permettre aux agriculteurs de poursuivre la mise en œuvre du SDCV, il était nécessaire d'étudier les leviers alternatifs à l'usage du glyphosate pour la régulation des couverts permanents de légumineuses

mais sans réintroduction du travail du sol. Le projet CASDAR ENGAGED piloté par 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 pour objectif de construire avec et pour des agriculteurs des prototypes de systèmes de culture en semis direct sous couvert végétal vivant ou permanent, économes en herbicides, sans utilisation de glyphosate et avec un Indice de Fréquence de Traitement (IFT) en herbicide inférieur à 1. Le projet est construit autour de 3 actions : (1) traque à l'innovation chez les agriculteurs pour identifier des pistes de gestion des adventices dans les systèmes SDCV, (2) conduite d'expérimentations en bandes sans répétition sur des parcelles d'agriculteurs pratiquant le SDCV et (3) ateliers de co-conception avec les agriculteurs et les étudiants.

La première année d'expérimentation (2018-2019) avait travaillé sur la possibilité de gérer la régulation du couvert uniquement avec le désherbage chimique de la culture. Un effet « compétition » du couvert permanent de trèfle blanc sur les adventices présentes dans le blé avait bien été mis en évidence quand le pourcentage de couverture du trèfle était au minimum de 80 % (Sergheraert, 2019). Quelques adventices notamment le gaillet grateron ne semblaient cependant pas être impactées par le couvert. Toutefois, le remplacement du glyphosate par une gestion du désherbage du blé différencié (utilisation de dicamba ou avancement du florasulam) ne permettait pas de réguler suffisamment le couvert permanent entraînant un fort effet dépressif sur la culture de blé pouvant atteindre 30 q/ha, niveau non acceptable pour les agriculteurs.

Les deux années suivantes d'expérimentation (2019-2020 et 2020-2021) ont permis de travailler sur des leviers permettant de limiter la compétition entre couvert et culture de rente, tout en maintenant la compétition entre couvert et adventices. Deux pistes identifiées lors l'action de traque ont été plus spécifiquement étudiées :

- Augmentation de la densité de semis du blé pour améliorer la compétitivité de la culture de rente par rapport au couvert et aux adventices
- Maintien d'une régulation chimique au printemps à la dose la plus réduite possible

Matériels et Méthodes

Modalités étudiées

Campagne 2019-2020 :

Pour tester les pistes identifiées, sept parcelles chez des agriculteurs pratiquant le SDCV ont été mises en place. L'itinéraire technique du blé est présenté dans le tableau 1. Trois modalités (surface 12m de large sur 50 m de long) ont été testées sans réplicat :

- Modalité « Avec » : densité de semis 300 grains/m² + glyphosate 1 L/ha
- Modalité « Sans faible » : densité de semis 300 grains/m² sans glyphosate
- Modalité « Sans forte » : densité de semis 600 grains/m² sans glyphosate

Tableau 1 : Itinéraire technique des 7 parcelles (campagne 2019-2020)

	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3	Parcelle 4	Parcelle 5	Parcelle 6	Parcelle 7
Précédent cultural	Colza +trèfle blanc	Colza +trèfle blanc	Colza +trèfle blanc	Orge d'hiver+ trèfle violet	Colza +trèfles blanc et violet	Luzerne	Colza +trèfle blanc
Date de semis	15/10/2019	15/10/2019	15/10/2019	Début nov	22/10/2019	15/11/2019	26/11/2019
Herbicides automne	Fosburi 0,3 L/ha + Daïko 0,3 L/ha	Fosburi 0,4 L/ha	Fosburi 0,3 L/ha + Allié 5 g/ha	-	Allié 6 g/ha	Flexcard 0,2 L/ha + Glosset 600SC 0,35 L/ha	-
IFT herbicide automne	1,1	0,67	0,7	0	0,24	1,7	0
Herbicides printemps	Gratil 20 g/ha	Allié 15 g/ha	Gratil 20 g/ha	Deft 30 g/ha	Allié 5 g/ha + Inixio Xpert 100 g/ha	Allié 15 g/ha	Allié 5 g/ha (15/02)+ Allié 12 g/ha (16/03)
IFT herbicide printemps	0,5	0,5	0,5	0,27	0,4	0,5	0,68
IFT herbicide total	1,6	1,17	1,2	0,27	0,64	2,2	0,68

Campagne 2020-2021 :

Cinq plateformes chez des agriculteurs ont été mises en place. Différentes modalités ont été déterminées et sont présentées dans le tableau 2. La substance choisie pour la régulation du couvert est le metsulfuron methyl car c'est le produit utilisé habituellement par les agriculteurs pratiquant le SDCV et menant les essais.

Tableau 2 : Synthèse des modalités sur les essais de densité ; les doses sont données en grammes de metsulfuron-methyl par hectare

	Nom de la modalité	Densité de semis	Dose lors de la régulation de printemps	Glyphosate à l'automne
Tronc commun 5 parcelles	Témoin glyphosate	300 gr/m ²	1 g/ha	Oui
	Sans faible / pleine dose	300 gr/m ²	1 g/ha	Non
	Sans forte / pleine dose	600 gr/m ²	1 g/ha	
Modalités sup 2 parcelles	Sans faible / demi dose	300 gr/m ²	0,5 g/ha	
	Sans forte / demi dose	600 gr/m ²	0,5 g/ha	

A ces cinq essais, deux autres essais ont été spécifiquement mis en place en février 2021 afin de tester différentes doses de régulation et dont les modalités sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Synthèse des modalités sur les essais de régulation ; les doses sont données en gramme de metsulfuron-methyl par hectare

Nom de la modalité	Densité de semis	Dose lors de la régulation de printemps	Glyphosate à l'automne
Témoin non régulé	400 gr/m ²	Pas de régulation	Oui
Faible dose		1 g/ha	
Moyenne dose		3 g/ha	
Dose maximale homologuée		6 g/ha	

Données récoltées

Les mesures réalisées ont été les mêmes pour les deux années d'expérimentation et ont permis d'évaluer :

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

Pour l'évaluation de la proportion de couverture et de la richesse spécifique, deux campagnes de relevés ont été menées : fin novembre et mi-février. Pour chaque campagne, dix relevés par modalité ont été réalisés grâce à l'utilisation de quadrats (figure 1).

Le quadrat de 0,36 m² a été déposé aléatoirement au sol dans la longueur de la modalité (50m de long). Le pourcentage d'occupation dans la zone délimitée est estimé visuellement pour les adventices, les débris végétaux morts (*mulch*), le couvert vivant, le blé et le sol nu.

Les adventices présentes dans le quadrat sont également notées selon leur genre, leur espèce et leur stade de développement, permettant une première évaluation de la richesse spécifique des adventices.



Figure 1 : Quadrat de 0,36 m² utilisé pour les relevés de flore (10 relevés par modalité) et de biomasse (4 relevés par modalité)

L'évaluation de la richesse spécifique grâce aux quadrats est complétée par une battue réalisée sur chaque modalité. Afin de s'assurer que l'ensemble des adventices présentes dans les essais aient été notées, les différents observateurs se disposent en ligne à une extrémité de la zone d'observation et la traversent en longueur, en reportant toutes les espèces observées et leur stade de développement.

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 48h à 80°C afin de déterminer la biomasse sèche.

Enfin, les composantes de rendement ont été également mesurées afin de pouvoir effectuer une analyse affinée du rendement final. Les quadrats ont servi à délimiter une zone dans laquelle les nombres de pieds de blé, de talles et d'épis ont été comptés. Pour chaque modalité, trois répétitions ont été effectuées.

Résultats

Effet de l'augmentation de la densité de semis

Un contrôle des adventices comparable au glyphosate en sortie hiver avec une densité de semis de blé plus forte

Les essais menés en 2019-2020 ont mis en évidence que le glyphosate permet un meilleur contrôle des adventices à l'automne (figure 2 graphique de gauche) qui se maintient dans le temps (pas d'augmentation de la densité d'adventices pour le relevé de février) par rapport à la modalité « sans faible » (figure 2 graphique de droite).

Si une plus forte densité de semis de blé ne semble pas permettre d'atteindre un contrôle des adventices comparable au témoin avec glyphosate, en février, les densités d'adventices entre les deux modalités « avec » et « sans forte » sont très proches. Cela s'explique par une plus forte présence de pieds de blé qui entraîne un phénomène de compétition avec les adventices.

La richesse spécifique des adventices est plus faible avec l'utilisation du glyphosate. L'augmentation de la densité de semis ne semble pas avoir d'effet sur cette richesse puisque le même nombre d'espèces est relevé dans les modalités « sans faible » et « sans forte ».

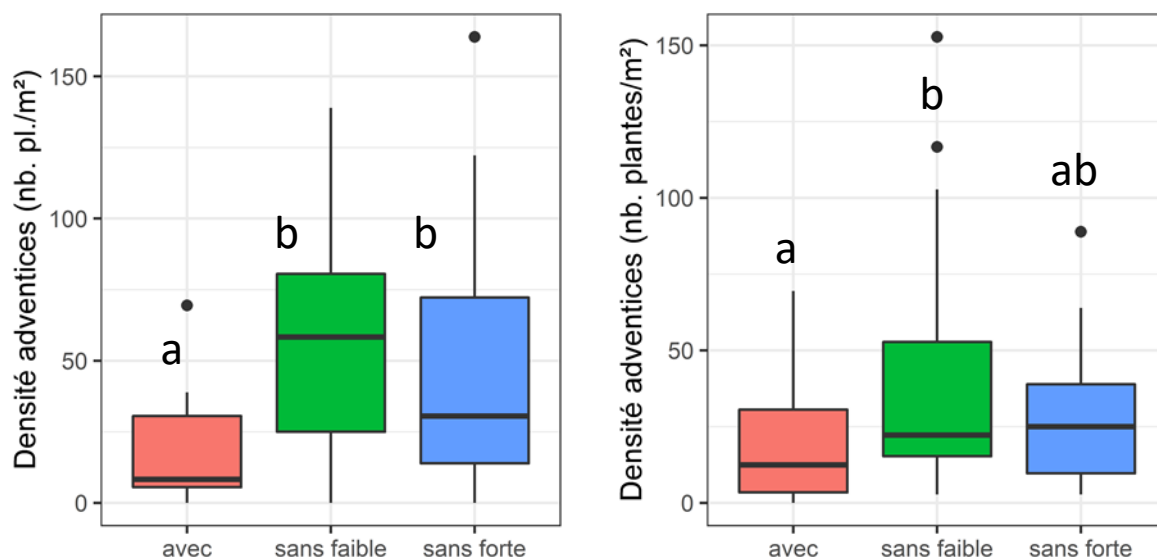


Figure 2 : Evolution de la densité des adventices entre le relevé réalisé en octobre 2019 (à gauche) et le relevé de février 2020 (à droite) pour les trois modalités « avec », « sans faible » et « sans forte »

Source Travaux de Guillaume ADEUX INRAE non publiés

La seconde année d'expérimentation 2020-2021 a mis en évidence des tendances similaires sur le niveau de contrôle des adventices et la richesse spécifique qui est davantage influencée par la présence/absence de glyphosate que par l'augmentation de la densité de semis du blé.

Un développement du blé plus élevé permis par l'augmentation de la densité de semis du blé au détriment des adventices

Pour le relevé réalisé en octobre 2019, le pourcentage de couverture des adventices est plus important en absence de glyphosate (figure 3 graphique de gauche). En février 2020 (figure 3 graphique de droite), il y a davantage de trèfle et d'adventices en absence de glyphosate. Concernant l'effet de l'augmentation de la densité de semis du blé, on observe un pourcentage de couverture de blé similaire entre la modalité « avec » et « sans forte ». L'augmentation de la densité a permis de « compenser » la compétition entre couvert, adventices et blé en permettant au blé de s'implanter et de se développer davantage que dans la modalité « sans faible ».

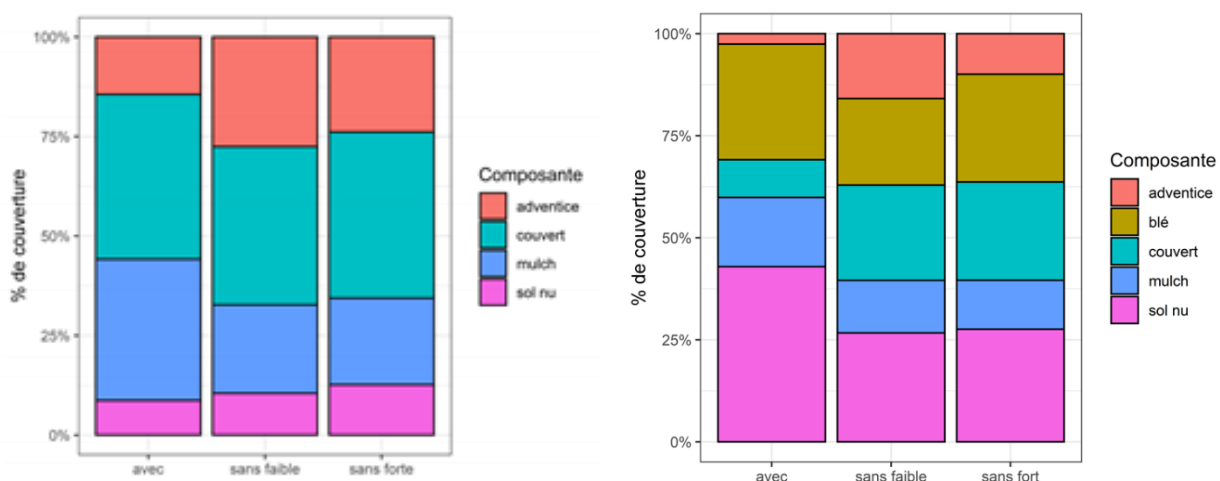


Figure 3 : Taux de couverture entre le relevé réalisé en octobre 2019 (à gauche) et le relevé de février 2020 (à droite) pour les trois modalités « avec », « sans faible » et « sans forte »

Source Travaux de Guillaume ADEUX INRAE non publiés

Les mesures du taux de couverture réalisées sur l'année 2020-2021 confirment que l'augmentation de la densité de semis du blé permet un développement du blé similaire entre les modalités « avec » et « sans forte » en sortie hiver (figure 4). Toutefois, c'est cette fois ci au détriment du couvert (proportion plus faible de couvert en modalité « sans forte » par rapport à la modalité « sans faible »), la proportion d'occupation des sols par les adventices étant la même entre les trois modalités. Cela a également permis une proportion de sol nu plus faible par rapport à la modalité avec glyphosate comme l'année précédente.

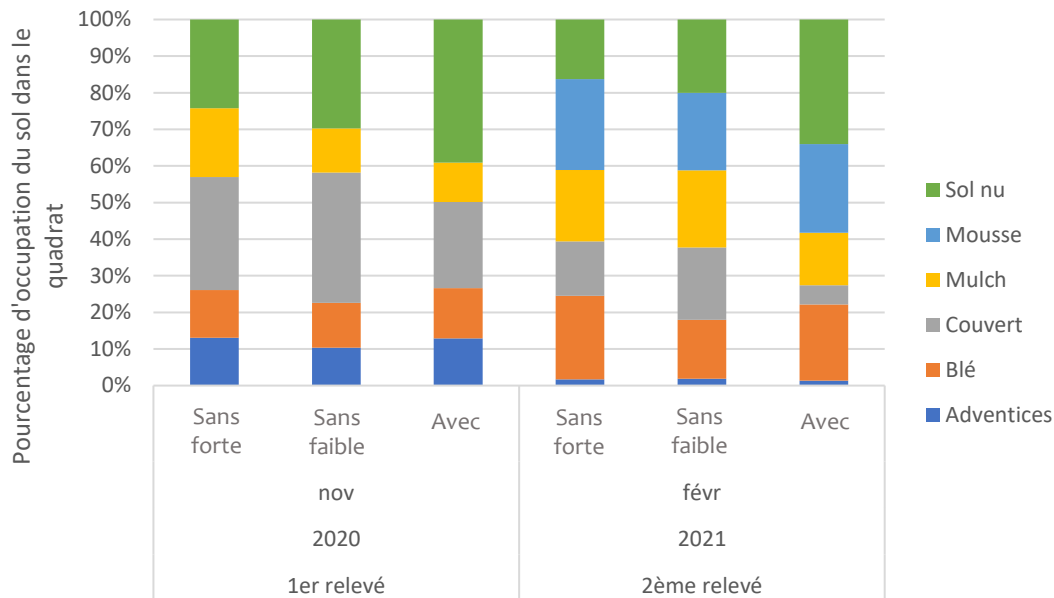


Figure 4 : Taux de couverture du sol par les adventices, blé et trèfle pour les deux dates de relevés pour les trois modalités « avec », « sans faible » et « sans forte »

Des rendements proches entre les modalités « avec » et « sans forte »

L'étude des composantes de rendement (nombre de pieds/m², nombre de talles/m² et nombre d'épis/m²) montre la même tendance (figure 5). Si la modalité « sans faible » présente des composantes de rendement significativement plus faibles que la modalité « avec », l'augmentation de la densité de semis (modalité « sans forte ») permet d'obtenir des composantes de rendement significativement proches de la modalité « avec ». Elle a donc permis une compensation de la concurrence du couvert de trèfle. Les rendements mesurés sur les parcelles sont proches entre ces deux modalités chez la majorité des agriculteurs et ce pour des indices de fréquence de traitement inférieurs (IFT 1,11 versus IFT 1,44 avec glyphosate).

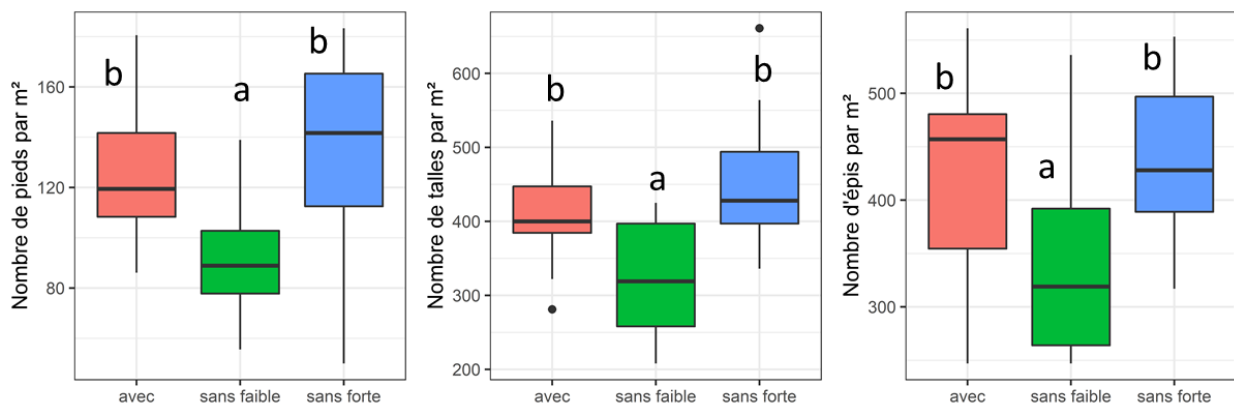


Figure 5 : Comparaison des composantes de rendement (nombre de pieds/m², nombre de talles/m² et nombre d'épis/m²) pour les trois modalités « avec », « sans faible » et « sans forte » pour l'année 2019-2020

Source Travaux de Guillaume ADEUX INRAE non publiés

Le suivi des composantes de rendement montre, comme la campagne précédente une augmentation du nombre de talles et du nombre d'épis (figure 6).

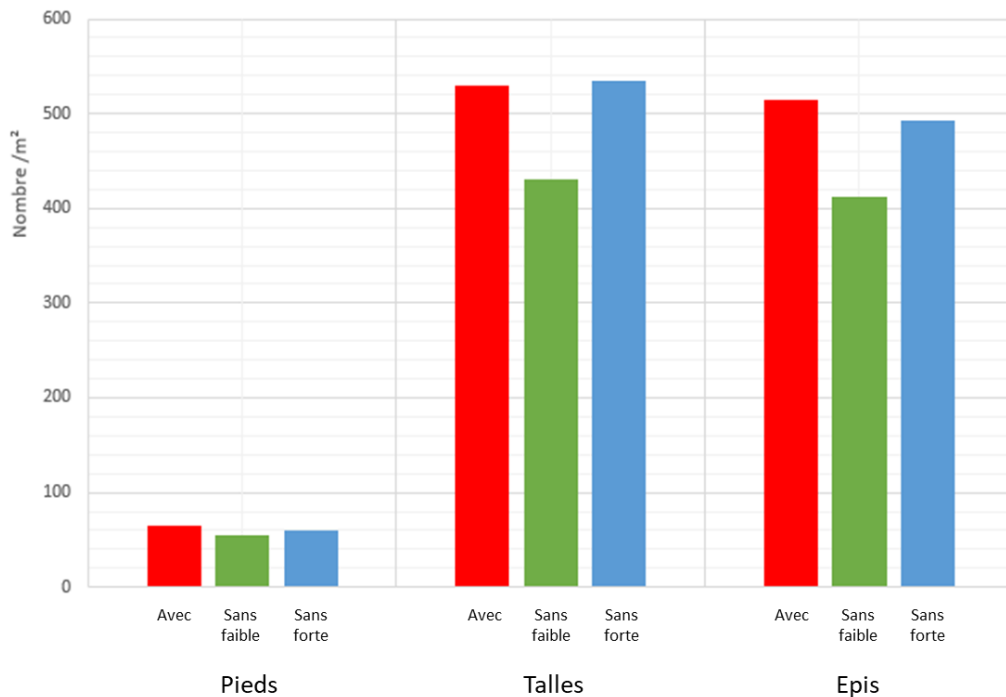


Figure 6 : Comparaison des composantes de rendement (nombre de pieds, de talles et d'épis par m²) pour les trois modalités « avec », « sans faible² » et « sans forte » pour l'année 2020-2021

A densité de semis identique (modalité « avec » en comparaison à modalité « sans faible»), on observe en moyenne une perte de rendement de 9 quintaux par hectare. L'augmentation de la densité de semis permet de ramener cette perte de rendement à 4 quintaux par hectare.

Effet de la régulation de la dose

La dose de *metsulfuron-methyl*, qu'elle soit de 0,5 g/ha ou de 1 g/ha, semble avoir permis de réguler le couvert au même niveau (figure 7). Il pourrait donc être possible d'envisager une réduction de la dose de *metsulfuron-methyl* utilisée lors de la régulation du couvert au printemps, sans nécessairement que cela ait un impact négatif sur la biomasse de la culture de vente et son rendement.

A noter que l'absence totale de couvert sur les parcelles lors du dernier relevé de biomasse n'est pas entièrement liée à la régulation du couvert au printemps car 1 gramme de *metsulfuron-méthyl* par hectare ne suffit en général pas à détruire un couvert de légumineuses (GIEE Magellan, 2019 ; Labreuche & Gautellier Vizioz, 2020). Elle peut aussi être due aux conditions environnementales (pédologiques, climatiques) et/ou aux itinéraires techniques menés par les agriculteurs sur les parcelles d'essai au cours de la campagne (Amossé, 2013).

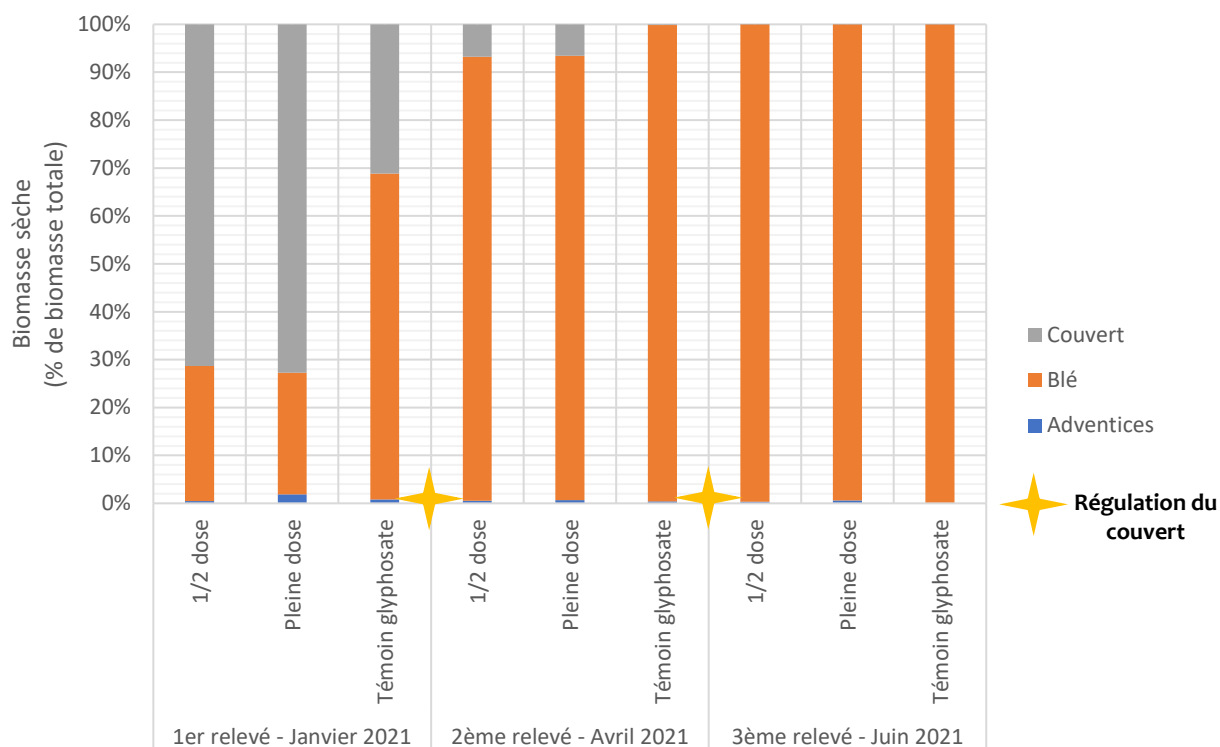


Figure 7 : Comparaison de la biomasse, donnée en pourcentage de biomasse sèche par rapport à la biomasse sèche totale, en fonction des différentes dates de relevés et entre les différentes modalités de régulation au printemps sur les parcelles ENGAGED.

Les essais « Régulation » mis en place sur 2 parcelles supplémentaires (figure 8) confirment qu'une pulvérisation de *metsulfuron-methyl* au printemps a bien un effet dépressif sur la croissance du couvert mais sans destruction totale même à la dose homologuée et donc a fortiori pas avec 1g/ha comme obtenu dans les essais présentés précédemment. Sur ces derniers, d'autres facteurs sont donc bien rentrés en jeu dans la disparition du couvert.

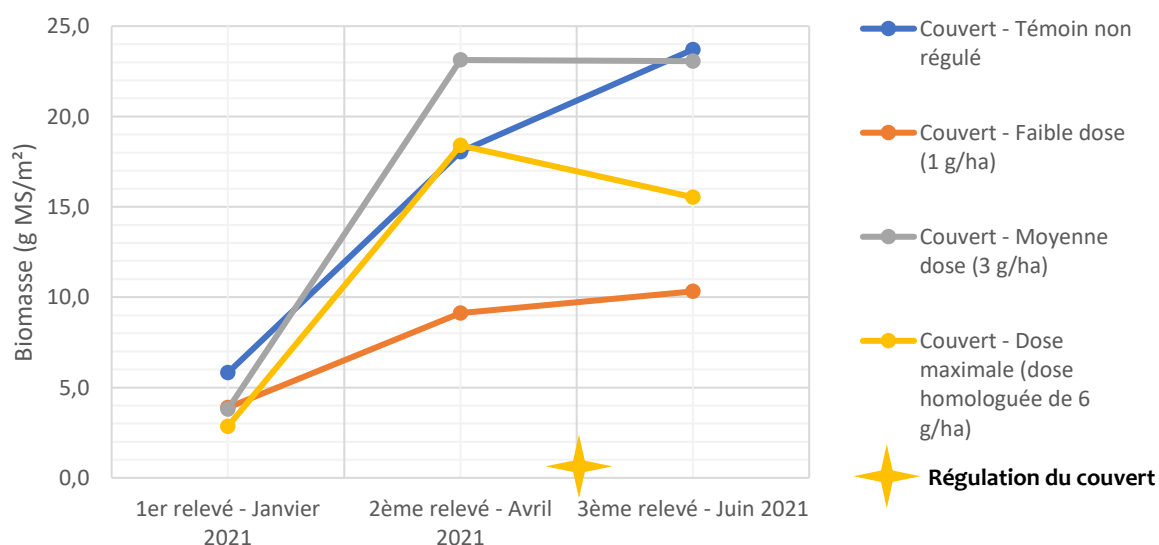


Figure 8 : Evolution de la biomasse du couvert en gramme de matière sèche par m² (g MS/m²), en fonction des différentes modalités de régulation (quantités données en gramme de *metsulfuron-methyl* par hectare) sur les parcelles Régulation.

En termes de mesure de biomasse, ces deux essais présentent les mêmes tendances à savoir une biomasse de blé en proportion (en pourcentage de biomasse totale) équivalente entre les différentes modalités.

Discussion et perspectives

Une des limites de ce projet est le choix de réaliser les expérimentations dans des parcelles d'agriculteurs en SDCV. Peu de parcelles étaient disponibles, cette pratique étant encore peu répandue sur le terrain. Le choix des parcelles a ainsi davantage été piloté par la présence du couvert permanent que par le niveau d'homogénéité. De plus, les agriculteurs n'ont pas souhaité mettre en place des microparcelles avec répétitions. Ainsi, les tests statistiques ont été réalisés à partir de pseudos réplicats. Ainsi, les effets des traitements n'ont pu être dissociés d'un effet dû à l'hétérogénéité de la parcelle d'essai.

Les résultats obtenus lors de ces deux années d'expérimentation ont été jugés encourageants par les agriculteurs expérimentateurs notamment grâce à une limitation de l'impact négatif sur le rendement de blé permise par l'augmentation de la densité de semis. Toutefois, ils ont estimé que les adventices n'étaient pas suffisamment maîtrisées, déclenchant pour la majorité un traitement de glyphosate pour la culture suivante. Cela n'a pas permis de poursuivre l'année suivante l'expérimentation initialement prévue pour tester des leviers sur les cultures de printemps et évaluer les effets cumulatifs d'une non utilisation de glyphosate sur plusieurs années de rotation. La couverture permanente permet un bon contrôle des adventices mais il est impératif de maîtriser la compétition entre couvert et culture de vente. Si l'augmentation de la densité de semis du blé a bien permis de réduire l'impact sur le rendement de la culture, il est nécessaire d'envisager des leviers supplémentaires pour maintenir ces systèmes SDCV sans glyphosate. Par exemple, on peut étudier la régulation mécanique des couverts grâce à un broyage en post semis du blé et/ou au printemps avec des prototypes (Bionalan, Roll'N'Sem...) « tondeuses » venant broyer le couvert entre les rangs de blé. Un scalpage pourrait également être envisagée. Enfin, les travaux ont été menés principalement en cultures d'hiver (colza et céréales). Il faudra également travailler ces pistes pour les cultures de printemps pour pouvoir aborder cette problématique à l'échelle de la rotation.

Bibliographie

- Amossé, C., Jeuffroy, M.-H., Celette, F., & David, C., 2013. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. *European Journal of Agronomy*, 49, 158-167
- Barberi, P. & lo Cascio, B., 2001. Long-term tillage and crop rotation effects on weed seedbank size and composition. *Weed Research*, 41, 325-340.
- Buchanan, A. L., Kolb, L. N. & Hooks, C. R. R., 2016. Can winter cover crops influence weed density and diversity in a reduced tillage vegetable system ? *Crop Protection*, 90, 9-16.
- 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.
- Casper, B. B. & Jackson, R. B., 1997. Plant competition underground. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 545-570.
- Cordeau, S., Baudron, A. & Adeux, G., 2020. Is Tillage a Suitable Option for Weed Management in Conservation Agriculture ? *Agronomy*.
- Cordeau, S. & Moreau, D., 2017. Gestion des adventices au moyen des cultures intermédiaires multi-services : potentiels et limites. *Innovations Agronomiques*, 62, 87-100.
- Derrouch, D., Chauvel, B., Cordeau, S., & Dessaint, F., 2021 a. Functional shifts in weed community composition following adoption of conservation agriculture. *Weed Research* 62, 103-112.
- Derrouch, D., Dessaint, F., Fried, G., & Chauvel, B., 2021 b. Weed community diversity in conservation agriculture : Post-adoption changes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 312, 107-351.
- Forey, E., Barot, S., Decaëns, T., Langlois, E., Laossi, K.-R., Margerie, P., Scheu, S. & Eisenhauer, N., 2011. Importance of earthworm-seed interactions for the composition and structure of plant communities : A review. *Acta Oecologica*, 37, 594-603.
- GIEE Magellan, 2019. *Guide MAGELLAN - Semis direct sous couvert permanent*. Verre de terre Production.
- Justes, E., & Richard, G., 2017. Contexte, concepts et définition des cultures intermédiaires multi-services. *Innovations Agronomiques*, 62, 1-15.
- Labreuche, J. & Gautellier Vizioz, L., 2020. *Comment réguler le développement des légumineuses présentes dans le blé ?* Arvalis-info.fr.
- Petit, S., Trichard, A., Biju-Duval, L., McLaughlin, Ó. B. & Bohan, D. A., 2017. Interactions between conservation agricultural practice and landscape composition promote weed seed predation by invertebrates. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240, 45-53.
- Sergheraert, T., Chauvel, B., Fremont, F., Cordeau, S., Bernard, P.Y. & Bloux, A., 2019. Retour d'expériences sur le semis direct sous couvert sans glyphosate. *Communication lors de la 24^{ème} conférence du COLUMA, journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Végéphyll*
- Verret, V., Gardarin, A., Pelzer, E., Médiène, S., Makowski, D., & Valantin-Morison, M., 2017. Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield ? A meta-analysis. *Field Crops Research*, 204, 158-168
- Zimdahl, R. L., 2004. *Weed-Crop Competition : A Review* (2e éd.). Wiley-Blackwell.

