

Végéphyll – 25e CONFÉRENCE DU COLUMA
JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
ORLÉANS – 5, 6 et 7 DÉCEMBRE 2023

SYSTEMES DE CULTURE SYPPRE SANS GLYPHOSATE : DES DIFFICULTES PERSISTENT

N. CAEDDU ⁽¹⁾, F. VUILLEMIN ⁽¹⁾, S. CADOUX ⁽¹⁾, F. DUROUEIX ⁽¹⁾, M. LOOS ⁽¹⁾, J-L. VERDIER ⁽²⁾,
E. DESCHAMPS ⁽²⁾, C. PONTET ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Terres Inovia, 1 avenue Lucien Brétignières, 78 850 Thiverval-Grignon, f.vuillemin@terresinovia.fr

⁽²⁾ Arvalis, 6 chemin de la côte vieille, 31 450 Baziège

RÉSUMÉ

L'arrêt du glyphosate à partir de 2019 sur deux plateformes d'essais système Syppre (Lauragais et Berry) a été étudié. Ce travail, réalisé à l'échelle du système de culture et de l'interculture, a permis d'identifier les stratégies de gestion qui permettent de se passer du glyphosate sans conséquences dommageables et au contraire les situations d'impasses qui persistent malgré la combinaison des leviers de contrôle des adventices. Sur la plateforme du Lauragais, l'adaptation des pratiques de travail du sol et le labour ont permis d'éviter l'explosion du ray-grass. Tandis que sur la plateforme du Berry, le choix des pratiques et les programmes de désherbage en culture insuffisants ont conduit à une augmentation des densités du vulpin malgré l'introduction de deux cultures de printemps d'affilée qui s'avérait intéressante pour baisser la pression en graminées. De manière générale, les résultats montrent aussi qu'il est difficile de maintenir tous les objectifs à la fois : arrêt du glyphosate, réduction du travail du sol et des herbicides en culture.

Mots-clés : glyphosate, système de culture, graminées, travail du sol, multi-performance

ABSTRACT

The stop of glyphosate from 2019 on two Syppre system-trials (Lauragais and Berry) was studied. This work, carried out at the cropping system scale and at intercropping scale, identifies the strategies that gave good results without glyphosate and the deadlock situations that persist despite the combination of weed control practices. On the Lauragais trial, the adaptation of tillage and plowing practices avoided the explosion of the ryegrass. While on the Berry trial, the orientation of practices and the insufficient weeding programs in crops led to a drift of blackgrass despite the introduction of two spring crops in the rotation, which is interesting to reduce weed pressure. In general, the results also show that it is difficult to maintain all the objectives at the same time: stopping glyphosate, reducing tillage and use of crop herbicides.

Keywords: glyphosate, cropping system, weeds, tillage, multi performance

INTRODUCTION

Le glyphosate est un herbicide foliaire systémique non sélectif à large spectre (Rodriguez *et al.*, 2019). Particulièrement efficace sur vivaces et graminées annuelles, sans effet résiduel et d'un coût relativement raisonnable, son usage s'est largement développé en interculture dans les systèmes de grandes cultures (Labreuche *et al.*, 2019). L'enquête 2017 du Service de la Statistique et de la Prospective du ministère de l'Agriculture portant sur les pratiques de l'interculture 2016 et la campagne 2017 révèle que 19% des surfaces de grandes cultures ont été traitées au glyphosate (au moins une fois pendant l'interculture pour une large majorité et avant la levée de la culture suivante pour une très faible part) (Bonin *et al.*, 2021). Cependant, en octobre 2017 les députés européens demandent le retrait du glyphosate sous 5 ans et le président français demande au gouvernement d'établir un plan de sortie du glyphosate (Rodriguez *et al.*, 2019).

Les alternatives passent par une combinaison de leviers à effets partiels et les leviers les plus travaillés sont ceux liés aux techniques de travail du sol (Labreuche *et al.*, 2021a). Les enquêtes réalisées en été

2019 par les instituts techniques agricoles pour connaître l'usage du glyphosate en grandes cultures montrent que les agriculteurs pratiquant le labour ont moins besoin d'avoir recours au glyphosate (Bonin *et al.*, 2021). Les efficacités des techniques de travail du sol superficiel sont plus aléatoires, car elles dépendent du type d'adventices (globalement les dicotylédones sont plus faciles à détruire que les graminées), de leur stade (les graminées ayant commencé leur tallage sont plus difficiles à détruire), de la météo qui suit l'intervention (un temps humide facilitera leur repiquage voire l'émergence de nouvelles levées) (Labreuche *et al.*, 2021a). A cette problématique de semer la culture sur un sol propre s'ajoute celle de ne pas dégrader la qualité du lit de semences par les interventions de travail du sol supplémentaires. D'après l'expertise des instituts et des agriculteurs, les alternatives au glyphosate sont confrontées à des situations critiques comme : les sols argileux, hydromorphes, pierreux ou superficiels sur lesquels le travail du sol est plus délicat, et les scénarios climatiques humides limitant l'efficacité et les possibilités d'intervenir mécaniquement, notamment en sortie hiver avant les cultures des protéagineux de printemps, orge de printemps ou lin de printemps (Labreuche *et al.*, 2021b). En outre, d'après une étude de l'INRAE, ces techniques alternatives entraînent un surcoût chiffré jusqu'à 80 €/ha et un surcroît de travail jusqu'à 1,43 h/ha (Carpentier *et al.*, 2020).

De nombreuses impasses persistent, ainsi pour tester le retrait du glyphosate dans un essai combinant déjà des leviers agronomiques de contrôle des bioagresseurs (allongement et diversification de la rotation, désherbage mécanique, ...), les essais systèmes Syppre ont été mobilisés. En effet, l'action inter-instituts Syppre, co-pilotée par Terres Inovia, Arvalis et l'ITB, s'appuie notamment sur cinq plateformes d'expérimentation pluriannuelles réparties à travers la France. Sur ces plateformes, l'objectif de non-recours au glyphosate a donc été introduit à partir de la campagne 2019, et s'est ajouté aux objectifs initiaux de réduction de l'utilisation des intrants, d'augmentation de la productivité et de diminution des Gaz à Effet de Serre (GES).

Les objectifs de cette étude sont (i) d'analyser comment ont évolué la maîtrise des adventices et les performances globales (marge, Indice de Fréquence de Traitement (IFT), consommation de carburant et émission de GES) dans les systèmes témoin et innovant ; (ii) de comparer à la fois l'aptitude des systèmes témoin et innovant à se passer du glyphosate et les conséquences sur leurs multi-performances ; (iii) d'identifier les stratégies efficaces pour se passer du glyphosate et les situations d'impasse qui persistent.

MATERIEL ET MÉTHODES

L'étude s'est basée sur les données des plateformes Syppre Lauragais et Berry de 2016 à 2021. Chaque plateforme compare un système de culture témoin (basé sur la rotation représentative de la région et des pratiques culturales optimisées selon le conseil des instituts techniques), et un système de culture innovant qui cherche à concilier des objectifs chiffrés de productivité, de rentabilité et d'excellence environnementale (Longis *et al.*, 2023), tout en répondant aux problématiques agronomiques locales. Sur chaque plateforme, tous les termes de la rotation témoin et de la rotation innovante sont présents chaque année (répétition temporelle). De plus, il y a deux répétitions spatiales de chaque terme de la rotation sur la plateforme du Lauragais et trois sur celle du Berry. Lors de l'arrivée de l'objectif « 0 glyphosate » dans le projet Syppre en 2019, les gestionnaires de chaque plateforme se sont réunis pour adapter en conséquence les stratégies, jusqu'à la reconception d'une partie des systèmes.

Données

Dans un premier temps, l'ensemble des **interventions culturales** saisies sur le logiciel SYSTERRE® a permis de détailler les pratiques (nombre de passages de travail du sol, applications des herbicides dont le glyphosate, etc. ...) et de calculer des **indicateurs de performances** (Tableau I).

Ensuite, les indicateurs flore adventice présentés dans le tableau I ont permis d'étudier le niveau d'infestation des parcelles et les évolutions de 2017 à 2021. Sur chaque terme de la rotation chaque année, le déroulement des intercultures, l'implantation des cultures et la maîtrise des adventices ont été étudiées. Enfin, plusieurs **entretiens** ont été organisés avec les correspondants de chaque

plateforme pour clarifier les stratégies mises en place et les résultats, et pour aller plus loin dans l'interprétation.

Tableau I : différents indicateurs mobilisés dans l'étude ; indicators of the study

Indicateurs flore adventice	Indicateurs de performances	Indicateurs de pratiques
- Densités adventices (notes Barralis converties en nombre de plantes/m ² avec la médiane de classe) avant 1 ^{er} désherbage de post-levée et avant récolte	- IFT herbicide en culture et en interculture	- Utilisation glyphosate (Oui/Non)
- Nombre d'espèces adventices différentes	- Marge directe avec aides (€/ha)	- Dose de glyphosate (l/ha)
- Notes de satisfaction du désherbage par parcelle avant récolte (1 à 10)	- Consommation de carburant travail du sol (l/ha) sur parc matériel réel	- Nombre de passages de travail du sol et profondeur maximale
	- Emissions de GES (kg eq CO ₂ /ha)	- Labour (Oui/Non)
		- Désherbage mécanique (Oui/Non)
		- Durée de la rotation en années

Analyse descriptive

Une analyse descriptive a été menée, sur le système innovant et sur le système témoin, pour identifier les stratégies mobilisées dans le but de gérer les adventices sans glyphosate et pour évaluer leur efficacité. L'analyse a été conduite par campagne à différents niveaux : à **l'échelle du système de culture** (pressions adventices, IFT herbicide à l'interculture et en culture...) et à **l'échelle de l'interculture** (en caractérisant le travail du sol). Sur chaque interculture chaque campagne, le degré de satisfaction de la stratégie réalisée a été jugé sur deux critères : le niveau de maîtrise des adventices en interculture et la qualité d'implantation de la culture suivante. Cela a donné 3 catégories : vert pour les stratégies sans glyphosate qui ont apporté satisfaction; rouge pour les stratégies sans glyphosate qui n'ont pas apporté satisfaction ; bleu pour les situations où le glyphosate a été utilisé car cela était jugé nécessaire par le correspondant de la plateforme. Puis, pour chaque interculture, une satisfaction globale (sur les 5 années d'essai) a été attribuée selon les fréquences d'apparition des 3 catégories décrites précédemment (vert, rouge, bleu).

Enfin, pour mieux comprendre les résultats et conduites des intercultures, les données ont été croisées avec les **jours disponibles théoriques** permettant de réaliser du travail du sol satisfaisant sur graminées (sol ressuyé, temps séchant) par situation. Pour cela, l'outil d'Arvalis J-dispos a été utilisé. En parallèle, des graphiques chronologiques ont été réalisés par parcelle pour retracer les densités adventices au cours du temps et le type de travail du sol réalisé en interculture. Pour visualiser l'effet des pratiques (glyphosate, travail du sol) sur la densité des adventices et sur la multi-performance, les variables correspondantes ont été croisées deux à deux sous forme de boîtes à moustaches.

Analyse statistique

Une analyse statistique a permis de valider les différents résultats obtenus par l'analyse descriptive. Dans le jeu de données, chaque ligne représentait 1 parcelle sur 1 année. Les variables étaient des variables descriptives (plateforme, année, bloc, numéro de parcelle, système, culture, précédent), des indicateurs de pratiques (travail du sol, usage de glyphosate...), des indicateurs de performances (IFT, consommation de carburant, émissions de GES...) et des indicateurs sur la flore adventice (densités, notes de satisfaction). Une analyse en composante principale (ACP) et une analyse factorielle multiple (AFM) ont été réalisées sur chaque plateforme pour observer les liens entre les variables de pratiques, de flore adventice et de performances. Ensuite, une régression PLS (« Partial Least Squares») a été effectuée pour identifier les variables qui expliquent les densités adventices notées avant désherbage de post-levée et celles avant récolte. Les variables explicatives sélectionnées étaient l'année, le bloc, la parcelle, la culture, le précédent, la dose de glyphosate, l'IFT herbicide interculture, le nombre de passages de travail du sol en interculture et leur profondeur maximale, la réalisation d'un labour ou non et le type de rotation (longue = innovante ou courte = témoin). Les résultats ont été discutés avec les correspondants de la plateforme concernée et confrontés à leur vision agronomique.

RESULTATS

Plateforme du Lauragais

La plateforme Lauragais, située en coteaux argilo-calcaire dans une zone où la rotation blé dur – tournesol est dominante (système témoin), met en œuvre un système innovant qui vise, en plus des

objectifs initiaux, à réduire les risques érosifs en limitant le travail du sol, en favorisant le semis direct et en mobilisant les couverts végétaux. Ce système vise aussi à améliorer la fertilité du sol et à maintenir la qualité des productions et la rentabilité économique. L'adventice qui pose le plus de problème sur cette plateforme est le ray-grass annuel (*Lolium sp.*), résistant aux anti-graminées foliaires de la famille des inhibiteurs de l'acétolactate synthase (ALS) et des inhibiteurs de l'acetyl CoA carboxylase (ACCCase).

Dans 5 intercultures sur les 8 présentes au total dans le système innovant, il a été possible de gérer l'interculture sans glyphosate avec un résultat satisfaisant en termes de maîtrise des adventices et de l'implantation des cultures. Les pratiques réalisées pour s'adapter à l'objectif « 0 glyphosate » ont été :

- Augmentation des passages de travail du sol, introduction d'une charrue déchaumeuse (avant CIVE puis sorgho, avant pois d'hiver et avant pois chiche) comme alternative afin de lutter contre le ray-grass par un enfouissement des graines tout en limitant les risques érosifs et préservant la matière organique en surface. L'efficacité de cette technique est variable d'un point de vue de la gestion du ray-grass car la profondeur de retournement est inférieure à celle d'une charrue et l'outil est dépourvu de rasette.
- Dans la rotation, remplacement de l'enchaînement de 3 cultures d'hiver (colza - blé dur – orge d'hiver) qui ne permettait pas un contrôle suffisant du ray-grass par pois chiche – colza – blé dur. Néanmoins, comme le pois chiche est peu couvrant et son spectre d'herbicides très retreint, le ray-grass a dérivé dans cette culture dans 1 cas sur 3.
- La culture intermédiaire à vocation énergétique (CIVE) avec triticale. L'interculture entre blé dur et CIVE/Sorgho a eu recours au glyphosate chaque année jusqu'en 2021 à cause du ray-grass qui se développait dans la CIVE. En effet, la destruction de la CIVE était tardive afin de maximiser son rendement mais cela engendrait un développement prolongé du ray-grass. De plus, la destruction mécanique était difficile avant le semis du sorgho en raison des conditions humides. C'est pour cette raison que, depuis 2021, la CIVE a été remplacée par un couvert d'été de sorgho fourrager et moha, suivi d'un couvert hivernal à base de féverole, qui présente l'intérêt d'être détruit plus tôt et sans glyphosate.

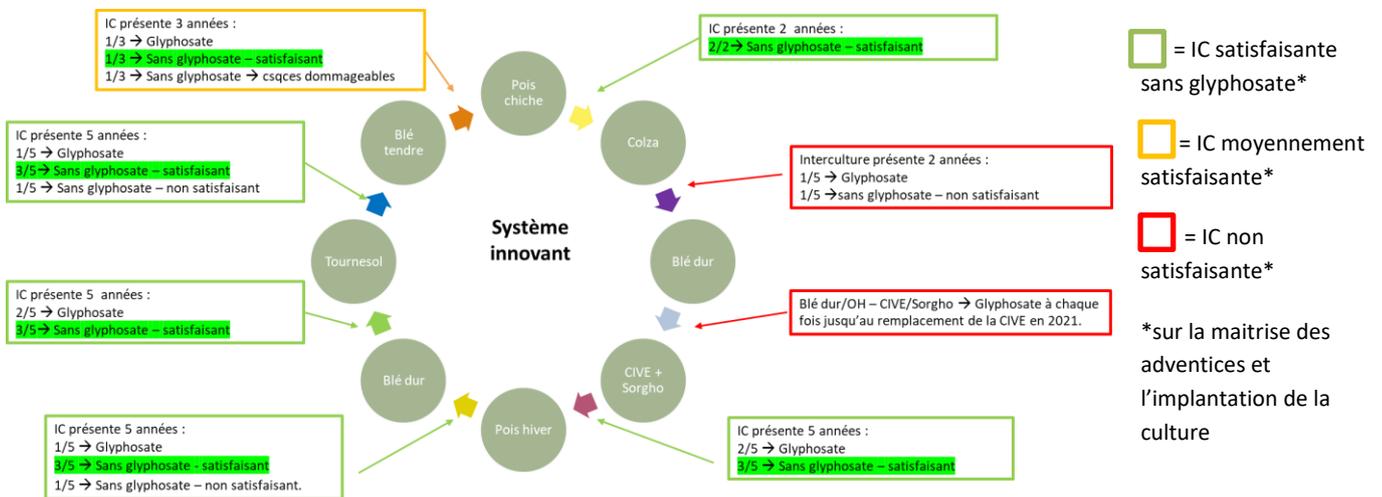


Figure 1 : rotation innovante du Lauragais ; Innovative rotation in the Lauragais site

Les résultats du système innovant (Figure 1) restent très satisfaisants pour un système qui ne mobilise que la charrue déchaumeuse et qui possède une proportion plus importante de cultures d'hiver. Les conditions pluvieuses de l'automne 2020 ont occasionné de nombreuses levées sur le système innovant qui n'ont pas été gérées efficacement par le travail du sol malgré les passages répétés. Ainsi dans ces conditions, le glyphosate semble rester la seule option efficace qui présente l'intérêt de ne pas dégrader la structure du sol ainsi que les conditions d'implantation des cultures.

Dans le système témoin (Figure 2), la pression ray-grass est plus faible que dans le système innovant (14.5 pl/m² avant désherbage en 2021 dans l'innovant contre près de 0 pl/m² dans le témoin) et la gestion sans glyphosate est beaucoup plus facile grâce au labour réalisé tous les 2 ans notamment et grâce à la succession culture d'hiver / culture de printemps. Au final sur cette plateforme, grâce à cette adaptation des pratiques, l'arrêt du glyphosate a été possible sur la majorité des intercultures tout en maintenant une gestion des adventices convenable sur le système innovant et bien satisfaisante sur le système témoin. Même si les résultats sont satisfaisants sans glyphosate, l'augmentation du travail du sol sur la plateforme est vue comme un aspect négatif car cela favorise les phénomènes d'érosion et de risque de dégradation de l'état structural. De plus, le sol argileux rend les interventions de travail du sol plus complexes et impose une vigilance accrue sur la structure du sol et donc la qualité d'implantation des cultures. En effet, les passages de travail du sol sont délicats en période hivernale (Tableau II), il y a peu de jours disponibles pour intervenir entre novembre et février avec un outil superficiel et même en dehors de ces conditions le moindre passage peut dégrader la structure du sol et/ou être moyennement efficace à cause des conditions humides qui favorisent le repiquage des adventices. Les résultats de la régression PLS rejoignent ces observations. En effet, l'analyse a montré que dans les intercultures où le nombre de passages de travail du sol (hors labour) augmente, les densités avant désherbage de la culture suivante augmentent aussi. Ce résultat est contradictoire avec l'effet attendu du travail du sol mais reste en adéquation avec les risques de repiquages et de levées adventices occasionnés par le travail du sol dans les terres superficielles et argileuses du Lauragais.

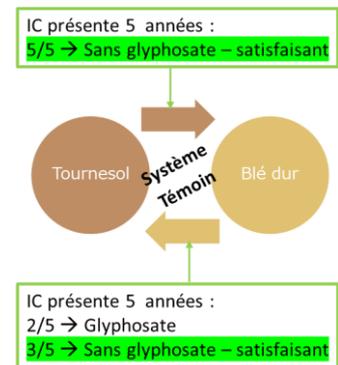


Figure 2 : rotation témoin du Lauragais ; Lauragais reference rotation

Tableau II : Jours disponibles par décade dans le Lauragais ; Available days by decade on the Lauragais trial

Calcul des jours agronomiquement disponibles sur la base des fréquentielles de 2000-2001 à 2019-2020 sur la station météo d'En Crambade (31)													Modèle J-Dispo ARVALIS - Institut du végétal																	
sol de terrefort moyen (décile 2 = j dispos sur 8 années sur 10) - Résultats du logiciel J-dispos d'Arvalis																														
Mois	Juillet			Aout			Septembre			Octobre			Novembre			Décembre			Janvier			Février			Mars			Avril		
Décade	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Nbre de jours Travail superficiel	6	6	9	9	10	11	8	10	10	9	7	9	4	4	3	1	1	1	2	1	0	1	3	3	4	7	6	6	6	6
Nbre de jours Travail sup. + tps séchant	4	3	6	5	7	6	5	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Ensuite, l'analyse statistique confirme que la pression adventice est plus faible sur le système témoin, en montrant une corrélation positive entre le type de rotation (témoin ou innovant) et les densités avant récolte. Pour expliquer cette pression adventice plus faible, l'un des leviers mis en évidence est le labour réalisé uniquement sur système témoin et qui présente également un effet significatif sur la diminution des densités avant désherbage, d'après les résultats statistiques. De plus, le système témoin a une rotation plus équilibrée (50 % hiver - 50% printemps) que le système innovant qui a réintroduit plus de cultures d'hiver (pour réduire le risque maladies), et qui a introduit le pois chiche (culture salissante), ce qui réaugmente finalement le risque graminées.

De plus, un effet de l'année sur les densités à la fois avant désherbage de post-levée et avant récolte a été également mis en évidence par la régression PLS. L'année 2020 présente les densités les plus élevées, ce qui est en adéquation avec les conditions humides de cette année-là, favorisant les levées et les repiquages après chaque passage d'outil. L'effet année reflète également les variations climatiques et les changements de pratiques d'une année à l'autre. Il y a aussi un effet de la culture sur les densités avant désherbage. La culture de tournesol du système témoin (T2) présente les densités les plus faibles (labour dans l'interculture avant tournesol), tandis que le deuxième terme de la rotation innovante (I2), composé de blé dur, maïs ou colza selon les années, présente les densités les plus élevées (en effet les cultures d'automne coïncident avec les périodes préférentielles de levée du ray-grass). Il y a aussi un effet du précédent sur les densités adventices observées avant désherbage. Les précédents « blé tendre » et « CIVE/Sorgho » ont les densités les plus basses (gamme d'herbicides

plus large en blé et glyphosate systématiquement utilisé après la CIVE) tandis que le précédent pois chiche, plus salissant, a des densités plus élevées.

Les analyses multivariées n'ont néanmoins pas permis de visualiser des liens potentiels entre l'usage de glyphosate, les IFT herbicides en culture et le désherbage mécanique sur l'infestation des adventices. Néanmoins il existe une tendance visible sur la représentation graphique entre la variable « Densités adventices Avant récolte » et la « quantité d'IFT herbicide appliqué ». En effet, on voit que plus l'IFT herbicide augmente en culture plus les densités adventices moyennes diminuent. Cela confirme l'efficacité des programmes de désherbage sur la gestion des adventices en culture.

Concernant l'effet de l'arrêt du glyphosate sur la multi-performance de la plateforme, les analyses multivariées n'ont pas montré de liens de corrélation entre l'usage de glyphosate et les IFT herbicides, le nombre de passage de travail du sol ou encore la consommation de carburant. D'après les représentations graphiques, l'arrêt du glyphosate ne semble pas entraîner d'augmentation des IFT herbicides en culture, avec des moyennes d'IFT similaires entre les parcelles traitées et non traitées au glyphosate. Par ailleurs, on remarque sur le système innovant (en excluant le deuxième terme de la rotation (I2) qui avait un itinéraire exceptionnel sur une année à cause de changements de culture), une augmentation en moyenne d'un passage de travail du sol (soit environ 10 l/ha de carburant) lorsque les parcelles ne sont pas traitées au glyphosate. L'arrêt du glyphosate entraîne donc une augmentation du nombre de passages de travail du sol (et donc une consommation en carburant plus élevée) sur la moitié des intercultures de la rotation qui sont des intercultures longues. L'autre moitié ne présente pas de différence entre les parcelles traitées et non traitées au glyphosate et sont des intercultures courtes, pour lesquelles il n'y a que peu de temps pour le travail du sol et moins de nécessité d'utiliser du glyphosate.

Au final, sur cette plateforme le ray-grass a été globalement maîtrisé malgré l'arrêt du glyphosate grâce à la réintroduction du travail du sol mais au détriment du risque d'érosion d'après les gestionnaires de la plateforme. Dans le système témoin, le labour et le bon équilibre cultures de printemps – cultures d'hiver ont maintenu une faible pression de ray-grass. En revanche, dans le système innovant, la diversification n'a pas facilité l'arrêt du glyphosate (CIVE, pois chiche, succession de cultures d'hiver...).

Plateforme du Berry

La plateforme Berry, située dans une région au sol argilo-calcaire où la rotation colza – blé d'hiver – orge d'hiver est fréquente (reproduite dans le système témoin), met en œuvre un système innovant qui vise à réduire l'usage des intrants sans impacter la marge, notamment en améliorant la gestion des adventices et la fertilité du sol pour favoriser la robustesse des cultures. Sur cette plateforme, il y a une infestation forte en graminées et plus particulièrement en vulpin des champs (*Alopecurus myosuroides*) résistant aux herbicides inhibiteurs de l'ALS et de l'ACCase. Cette graminée annuelle est présente sur la quasi-totalité de cette plateforme et peut atteindre des densités de 100 pl/m² en cas de fortes infestations.

Dans le système témoin (Figure 3), seulement 1 interculture sur 3 présente une gestion satisfaisante sans glyphosate tandis que dans le système innovant (Figure 4), il s'agit de 4 intercultures sur 9. Les pratiques ont été adaptées afin de répondre à cet objectif « 0 glyphosate » en augmentant le nombre de passages de travail du sol et en intégrant occasionnellement le labour. Ceci a eu pour conséquence de diminuer le nombre de cultures implantées en semis direct, malgré les objectifs initiaux de réduction du travail du sol, ainsi que de limiter la réussite des couverts végétaux implantés en interculture. De plus, au global moins de la moitié des intercultures ont maîtrisé les adventices correctement sans glyphosate.

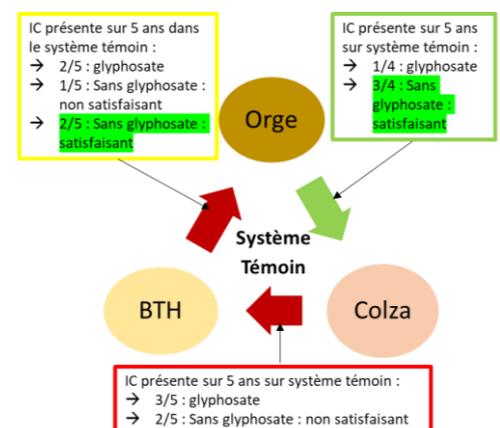


Figure 3 : rotation témoin du Berry ; Berry reference rotation

de plus, en lentille la propyzamide n'a été appliquée sur aucune année donc le vulpin n'a pu être contrôlé dans ces cultures.

L'augmentation du nombre de passages de travail du sol a eu pour conséquences une dégradation de la structure et une augmentation de la pression vulpin lorsque les conditions pédoclimatiques n'étaient pas optimales. En effet, les sols majoritairement argilo-sableux de la plateforme sont humides à partir du mois d'octobre jusqu'au mois d'avril d'une manière générale (Figure 6), et dans ces conditions le travail du sol favorise le repiquage des adventices et les nouvelles levées et peut dégrader la structure du sol en créant des mottes, des lissages et du tassement par les passages répétés du tracteur.

Globalement, on remarque une meilleure gestion des adventices sur le système innovant comparé au système témoin alors qu'il n'y a pas de changement profond des types d'herbicides et d'outils de travail du sol entre les deux systèmes. En effet, les densités avant désherbage sur les parcelles du système innovant sont plus élevées que sur le système témoin (Figure 5). La pression adventice plus faible sur le système innovant semble s'expliquer par la diversification de la rotation avec la présence de deux cultures de printemps à la suite (maïs ou millet puis tournesol).

En amont, il n'y a pas eu de définition claire et précise d'une stratégie particulière pour s'adapter au sans glyphosate ; par exemple la première année sans glyphosate, la priorité en interculture courte est restée sur le couvert végétal, ce qui a rendu plus délicat la gestion des adventices sans glyphosate et sans labour avec des couverts plus ou moins propres et plus ou moins réussis avant l'implantation de la culture suivante.

Les analyses multivariées n'ont pas révélé d'effets des différents leviers agronomiques sur la maîtrise des adventices. Concernant la multi-performance, l'arrêt du glyphosate ne semble pas entraîner d'augmentation de l'IFT herbicide culture sur cette plateforme, avec des valeurs d'IFT moyennes très proches entre les parcelles avec et sans glyphosate. L'analyse multivariée a montré une corrélation négative entre les IFT herbicides intercultures (comprenant essentiellement le glyphosate) et la consommation de carburant. On observe en effet une augmentation moyenne d'un passage et demi de travail du sol sur les parcelles sans glyphosate. Conjointement, la consommation de carburant dédiée au travail du sol augmente également d'environ 13 l/ha sur le même échantillon de parcelles non traitées au glyphosate.

Enfin, sur cette plateforme, l'arrêt du glyphosate a entraîné une baisse de maîtrise des adventices dans les deux systèmes. Le système innovant a été moins impacté par l'arrêt du glyphosate, notamment grâce à la double culture de printemps ; contrairement au système témoin moins diversifié. Les stratégies alternatives au glyphosate basées sur des passages de travail du sol répétés n'ont pas été suffisamment efficaces pour contrôler les graminées et ont conduit à dégrader la qualité d'implantation des cultures, dans un contexte de sols argileux difficiles à travailler en condition humide.

Après ces 3 années sans glyphosate sur la plateforme qui ont conduit à une augmentation de la densité du vulpin et des performances dans les 2 systèmes, en 2022 un travail de re-conception des systèmes

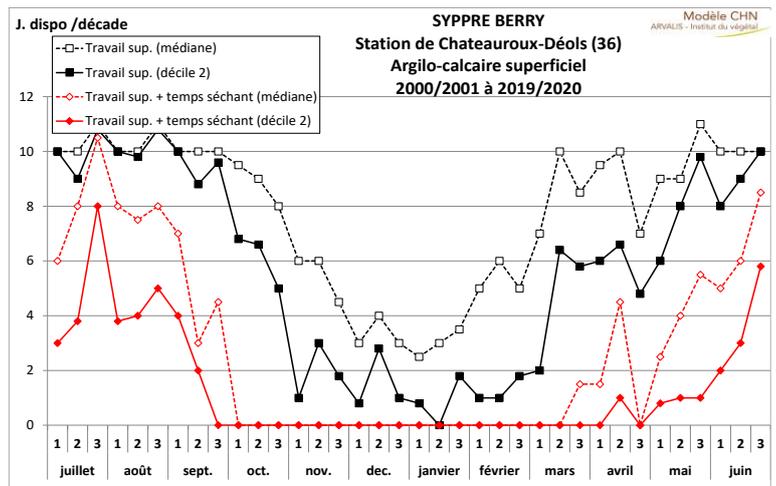


Figure 6 : Jours disponibles par décennie pour réaliser un travail du sol sur la plateforme du Berry (décile 2 = jours disponibles sur 8 années sur 10) ; Available days per decade to carry out tillage on the Berry trial (decile 2 = days available in 8 out of 10 years).

a été mené. Il a été choisi de mettre l'accent sur l'amélioration de la gestion du salissement des parcelles dans les deux systèmes (1) en remplaçant certaines cultures d'hiver par une culture de printemps en cas de forte pression graminée avant récolte, (2) en adaptant les règles de décision des stratégies de désherbage en culture et (3) en réintroduisant l'usage du glyphosate pour contribuer au contrôle du vulpin tout en se permettant de réduire le travail du sol.

DISCUSSION

Il est difficile d'interpréter les résultats de ces essais système car un ensemble de paramètres évolue en même temps. En effet, il ne s'agit pas d'essai factoriel où une seule pratique est testée mais de système de culture avec plusieurs pratiques qui évoluent simultanément et d'une année à l'autre en fonction des règles de décisions choisies et des aléas de la météo. De plus, l'aspect humain et organisationnel a une grande influence sur les choix et les orientations qui sont prises sur les plateformes, et donc sur les résultats obtenus. Ainsi, il est difficile de mesurer l'effet d'une pratique (ici l'utilisation ou non du glyphosate) sur les performances ou les densités adventices parce que la variabilité observée peut être causée par d'autres variables (étant donné que plusieurs variables changent à la fois). De plus, l'adaptation des stratégies à l'objectif « 0 glyphosate » n'est pas le seul élément compliquant la gestion des adventices car les essais Syppre doivent répondre aussi à d'autres problématiques telles que la fertilité, les maladies, la réduction des intrants... La priorisation de ces objectifs est définie au sein de chaque plateforme et l'ensemble des pratiques mises en œuvre pour y répondre impose différentes contraintes notamment pendant l'interculture : gestion des couverts, réduction de l'érosion...

L'arrêt du glyphosate a entraîné une adaptation des stratégies de gestion des adventices sur les plateformes du Berry et du Lauragais en augmentant le nombre de passages de travail du sol ou en intégrant de nouveaux outils. Malgré cela, les conditions pédoclimatiques réduisent les fenêtres d'intervention et l'efficacité des passages de travail du sol. En effet, les sols argileux des deux plateformes ne permettent pas de travailler le sol au dernier moment avant l'implantation de la culture, la météo humide ne permet pas toujours d'avoir les jours disponibles pour intervenir, l'absence de temps séchant peut dégrader l'efficacité de destruction mécanique des adventices, en particulier lorsque ce sont des graminées, à cause de leur capacité à se repiquer... Ainsi, les effets observés du travail du sol en substitution du glyphosate apparaissent donc non seulement aléatoires mais également imbriqués avec l'effet du climat, lui-même variable d'une année à l'autre.

Ainsi, pour toutes ces raisons évoquées ci-dessus, il est difficile de donner une réponse unique concernant les conséquences de l'arrêt du glyphosate sur la maîtrise des adventices à l'échelle du système. C'est également le cas sur d'autres critères.

En tendance on ne voit pas d'effet sur l'IFT herbicide en culture de l'utilisation ou non du glyphosate en interculture. Cependant, on ne peut pas vraiment conclure car étant donné que Syppre s'autorisait l'usage de glyphosate en ultime recours, il a donc été utilisé en cas de forte pression adventices et conjointement les quantités d'herbicides en culture augmentaient également. Par conséquent, selon les situations il est difficile d'analyser l'effet de l'usage du glyphosate sur l'IFT herbicide en culture.

Les variables d'émissions de gaz à effet de serre (GES) ou de marge directe ont, quant à elles, pas pu être interprétées car elles ne sont pas directement liées à l'usage de glyphosate, étant donné que d'autres paramètres les font aussi varier. En effet, les variations d'émissions de GES semblent plutôt liées à la fertilisation azotée, tandis que les variations de marges directes sont influencées par les cultures mises en place et le cours du marché.

Cette analyse fait écho à une étude similaire menée par Arvalis qui chiffrait l'arrêt du glyphosate en s'appuyant également sur les plateformes Syppre Lauragais et Berry, non pas sur la base des pratiques vraiment mises en œuvre, mais en réalisant des simulations de scénarios alternatifs au glyphosate faisant appel à différents leviers (labour, travail superficiel du sol, herbicide 2-4 D, et même désherbage électrique...) dans des fermes-types du logiciel Systerre (Dessienne, 2019). Cette étude avait montré que le travail du sol en substitution du glyphosate entraînait un allongement du temps

de travail (jusqu'à 55 min/ha), une augmentation des charges (jusqu'à 28 €/ha) et un accroissement des émissions de gaz à effet de serre (+ 44 kg équiv. CO₂/ha maximum) (Labreuche *et al.*, 2021b). Ce dernier point n'a pas été confirmé dans notre étude. Par ailleurs, les deux études arrivent à une conclusion similaire : dans le système témoin du Lauragais qui est labouré, on voit que la maîtrise des adventices est satisfaisante, et ce avec un usage restreint de glyphosate (Labreuche *et al.*, 2021b).

Enfin, ce travail a l'avantage de fournir des éléments opérationnels sur la gestion par interculture (conditions de réussite sans glyphosate et caractérisation des situations d'impasses afin de mieux les éviter) et sur l'articulation des différents leviers à l'échelle du système, y compris le choix des cultures dans la rotation. Ces enseignements seront utiles pour la conduite des plateformes Syppre et de manière générale pour les agriculteurs. En effet ils se basent sur un pilotage similaire à celui d'un agriculteur (stratégie et tactique) donnant des résultats représentatifs de la réalité du terrain.

CONCLUSION

Parmi les éléments marquants de cette étude, on retiendra que le système labouré, avec une rotation alternant cultures de printemps et d'hiver, maintient une pression en ray-grass très convenable (plateforme Lauragais) mais qu'il n'est pas transposable à toutes les situations (ex. sols superficiels caillouteux) ou qu'il s'accompagne d'effets négatifs (ex. risques d'érosion en coteaux). De plus, l'introduction de deux cultures de printemps d'affilée contribue à faire baisser la pression du vulpin (plateforme Berry). Enfin, le choix des cultures en général est aussi un levier de gestion des adventices pour décaler les dates de semis, faire plus du travail du sol en interculture, etc... Cependant, la diversification des cultures n'implique pas systématiquement un meilleur contrôle des adventices.

Par ailleurs, l'adaptation des pratiques pour maîtriser les adventices sans utiliser de glyphosate en interculture passe aussi par plus de travail du sol en interculture (introduction d'une charrue déchaumeuse dans le Lauragais, passages supplémentaires dans les deux plateformes) et une augmentation de la consommation de carburant. De plus, le peu de fenêtres d'intervention limite la gestion des graminées par le travail du sol, particulièrement avant les semis de sortie hiver. En outre, le travail du sol tardif en sol argileux risque fortement d'impacter la qualité d'implantation des cultures. Par ailleurs, les résultats montrent qu'il est difficile de réduire l'IFT herbicide en culture en l'absence de glyphosate et qu'il est nécessaire de renforcer les programmes de désherbage selon les situations.

Les observations des densités adventices montrent qu'il est difficilement tenable de maintenir tous les objectifs à la fois : réduction de l'IFT en culture, réduction de l'érosion (et donc du travail du sol), arrêt du glyphosate... Les résultats sur la plateforme Berry en sont la démonstration : la réduction de l'IFT herbicide en culture et la succession de 4 cultures d'hiver après la double culture de printemps ont en quelques années engendré une forte dérive du vulpin (en effet plus de la moitié des intercultures du Berry ne sont pas jugées satisfaisantes). Sur la plateforme du Lauragais, l'objectif de réduction de l'érosion a été revu à la baisse (passages de travail du sol et introduction d'une charrue déchaumeuse) pour compenser l'arrêt du glyphosate et le ray-grass a été globalement contenu (en effet seulement une interculture sur 4 dans le Lauragais n'est pas satisfaisante sans glyphosate).

BIBLIOGRAPHIE

- Bonin L., Duyme F., Wissocq A., Jouy L., Labreuche J., 2021. Limitation des usages : les systèmes sans labour ont besoin d'alternatives. *Perspectives agricoles* 484, 40-44.
- Carpentier A., Fadhuile A., Roignant M., Blanck M., Reboud X., Jacquet F., Huyghe C., 2020. Alternatives au glyphosate en grandes cultures. *Evaluation économique*. INRAE, 159 pages.
- Dessienne C., 2019. Gestion de l'interculture dans des rotations de grandes cultures : évaluation multicritère de solutions alternatives à l'utilisation du glyphosate. *Mémoire Agro Campus Ouest*. 89 p.
- Labreuche J., Perriot B., Gautellier-Vizioz L., Brun D., Bonin L., Vuillemin F., Duroueix F., Ruval R., Royer C., Buridant C., Rodriguez A., 2019. Glyphosate : peut-on s'en passer et avec quelles conséquences ? *Perspectives agricoles* 468, 41-43.

Labreuche J., Vuillemin F., Dubois S., Gautellier-Vizioz L., 2021a. Gestion des adventices annuelles : des alternatives aux efficacités variables. *Perspectives agricoles* 484, 49-54.

Labreuche J., Vuillemin F., Duval R., Duroueix F., Bonin L., Dessienne C., 2021b. L'interculture sans glyphosate en pratique : des solutions proposées au cas par cas. *Perspectives agricoles* 484, 56-61.

Longis S., Cadoux S., Toupet de Cordoue A.L., Tauvel P., Onzon P., Lescouret F., Rouillon C., Aubertot J.N., 2023, in press. Performance of innovative cropping systems diversified with oilseeds and protein crops: identification and resolution of methodological issues, using the Syppre experimental network as a case study. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*. 38 p.

Rodriguez A., Bonin L., Buridant C., Duroueix F., Duval R., Gautelliez-Vizioz L., Labreuche J., Perriot B., Vuillemin F., 2019. Glyphosate : chronique d'une molécule herbicide et Glyphosate en cultures assolées : efficacité des alternatives. *Phytoma* 729, 18-19 et 20-25.