

Phyto-Sol : systèmes de culture multi-performants sous contrainte de travail réduit du sol

Cadoux S.¹, Montanier C.¹, Planche R.¹, Schryve S.², Sauzet G.³

Avec la collaboration de Toqué C.⁴, Duval R.⁵, Schaub A.^{6,7}

¹ Terres Inovia, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon

² Terres Inovia, 2 Chaussée Brunehaut, BP50136, Estrées-Mons, F-80203 Péronne Cedex

³ Terres Inovia, Domaine du Grand Chaumoy, F-18570 Le Subdray

⁴ Arvalis Institut du végétal, Station expérimentale, F-91720 Boigneville

⁵ Institut Technique de la Betterave, 45 rue de Naples, F-75008 Paris

⁶ Chambre régionale d'agriculture Grand Est, 2 Rue de Rome, F-67300 Schiltigheim

⁷ Réseau Mixte Technologique « Systèmes de Culture Innovants »

Correspondance : s.cadoux@terresinovia.fr

Résumé

Le projet Phyto-Sol a permis de mettre au point et d'évaluer des systèmes de culture innovants visant à concilier réduction de l'usage des intrants et maintien des rendements et des marges, le tout sous contrainte de travail réduit du sol. Des expérimentations système de culture ont été mises en place dans trois contextes (limons sableux et argilo-calcaires superficiels du Centre-Val de Loire et limons profonds des Hauts-de-France) pour comparer un système de culture innovant et un système de référence, pendant la durée d'une rotation. Les stratégies innovantes de gestion de l'azote ont permis des réductions de l'usage de l'azote minéral et des gaz à effet de serre de 20 à 30 % dans les trois systèmes innovants. La réduction de l'usage des produits phytosanitaires n'a pas dépassé 30 %, et n'a donc pas atteint l'objectif de -50 %. La réduction des rendements a été systématique. Selon les sites et les indicateurs choisis, la rentabilité a été dégradée, maintenue ou améliorée. Davantage d'innovations sont donc nécessaires pour atteindre et concilier des objectifs ambitieux. Ces expérimentations ont en outre permis de montrer l'intérêt de stratégies/pratiques : insertion de légumineuses dans les rotations, colza associé, pois associé, couplage strip-till / binage / traitements localisés sur le rang, et de préciser les conditions d'adaptation de la succession protéagineux-colza.

Mots-clés : Systèmes de culture innovants, Produits phytosanitaires, Azote, Colza associé, Légumineuses, Semis direct

Abstract: Phyto-Sol : sustainable cropping systems under reduced tillage constraint

Cropping system experiments were set up in three contexts to compare an innovative cropping system and a reference system, during one rotation. Innovative nitrogen management strategies have led to reduce the use of mineral nitrogen fertilizers and greenhouse gas emissions by 20 to 30 % in the three innovative systems. The reduction in the use of pesticides did not exceed 30 %, and therefore did not reach the target of -50 %. Yields have decreased at the three sites. Depending on the sites and indicators selected, profitability has been degraded, maintained or improved. More innovation is needed to achieve and reconcile ambitious goals. These experiments also highlighted efficient strategies / practices: the insertion of legume crops in the rotations, intercropping rapeseed, intercropping winter

peas, coupling strip-till / hoeing / localized treatments on the row, and to specify the adaptation conditions of the legume crop-rapeseed succession.

Keywords: Innovative cropping systems, Pesticides, Nitrogen, Intercropping, Legume crops, Minimum tillage

Introduction

Pour permettre aux agriculteurs de répondre aux enjeux globaux qui s'imposent à l'agriculture, tout en maintenant ou améliorant la rentabilité dans un contexte changeant, et donc de concilier ces différents objectifs *a priori* contradictoires, il est nécessaire de re-concevoir des systèmes de culture (Meynard *et al.*, 2012), valorisant les processus biologiques, notamment la fertilité des sols et les régulations biologiques (Malézieux, 2012 ; Guillou *et al.*, 2013 ; Wezel *et al.*, 2014 ; Duru *et al.*, 2015, etc.). Le gouvernement français encourage cette transition au travers du « Projet agro-écologique pour la France » présenté en 2012.

Le projet EXPE Ecophyto « Phyto-Sol » a été mis en place pour trouver des solutions opérationnelles pour contribuer à cette « transition agro-écologique » dans les systèmes de grande culture. Il repose sur deux volets : (i) un volet « expérimentations systèmes de culture » qui consiste en l'expérimentation de systèmes de culture innovants dans un réseau de trois sites, et (ii) un volet « solutions innovantes pour la conduite du colza », qui consiste à tester différentes modalités de colza associé dans un réseau d'expérimentations analytiques. Ce volet original dans un projet EXPE Ecophyto était justifié pour mettre au point des innovations à introduire dans les essais systèmes de culture du volet 1, sur le colza. En effet, cette culture est la deuxième grande culture la plus cultivée en France, et la deuxième grande culture en termes d'indice de fréquence de traitement et de quantité d'azote apportée à l'hectare (AGRESTE, 2014).

Pour le volet « expérimentations systèmes de culture », trois éléments de contexte particuliers ont guidé les objectifs assignés aux systèmes de culture innovants : **(i) réduction de l'usage des produits phytosanitaires** : en réponse à la directive européenne 2009/128/CE, le gouvernement français a initié en 2008 le plan Ecophyto I visant à réduire l'utilisation des produits phytopharmaceutiques à l'horizon 2018, si possible. Suite à des recommandations pour atteindre l'objectif de réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques, un nouveau plan Ecophyto II a été lancé en 2015. Il réaffirme l'objectif de réduction de 50 % du recours aux produits phytopharmaceutiques en France en deux temps avec une réduction de 25 % à l'horizon 2020 puis une réduction de 50 % à l'horizon 2025. **(ii) réduction de l'usage de l'azote et des émissions de gaz à effet de serre (GES)** : la fertilisation azotée est à l'origine d'une diversité d'impacts sur la qualité de l'eau, de l'air et des sols (Cellier *et al.*, 2015). Ainsi, plusieurs directives européennes encouragent la réduction de l'usage de l'azote et de ses impacts environnementaux. La directive nitrates (91/676/CE) vise à réduire la pollution des eaux provoquées par les nitrates d'origine agricoles. Les directives 2009/28/CE et 2009/30/CE ont introduit des exigences nouvelles en termes de durabilité des biocarburants : réduction des émissions de GES du biodiesel par rapport au gazole d'au moins 50% à partir de 2017 et d'au moins 60 % à partir de 2018 pour les nouvelles installations (Guizouarn, 2015). Ces nouvelles exigences impliquent l'amélioration du bilan GES du biodiesel, notamment pour maintenir les surfaces de colza dont le débouché biocarburant représente environ les deux tiers des surfaces cultivées en France (Terres Univia, 2017). **(iii) réduction du travail du sol et du temps de travail** : on observe une rapide adoption des pratiques de travail réduit du sol voire de semis direct dans le monde, notamment du fait de bénéfices environnementaux comme la réduction des émissions de GES (Derpsch *et al.*, 2010). En France on observe également une augmentation des surfaces cultivées en non labour depuis les années 1990. En 2011, la moitié ou plus des surfaces de blé dur et de colza étaient implantées en non labour (Roger-Estrade *et al.*, 2013). Les résultats d'une enquête montrent que la première source de motivation pour l'implantation en non labour est le gain de temps, puis viennent en deuxième position les justifications économiques

(économie de charges) et techniques (difficultés à travailler les sols 'lourds') et en troisième position les motivations liées à l'amélioration de la fertilité des sols (Labreuche, 2007 in Landé *et al.*, 2013).

Ces éléments de contexte national ont conduit à définir des objectifs communs aux systèmes de culture innovants expérimentés dans les trois sites (Tableau 1), le tout sous contrainte de réduction du travail du sol. Les principes d'action pour atteindre ces objectifs sont également communs (diversification des rotations, introduction de légumineuses en culture principale, couvert d'interculture ou associé, association de cultures ou variétés, adaptation des dates de semis, recours aux outils d'aide à la décision pour optimiser le recours aux intrants, etc.) mais les solutions sont spécifiques de chaque site car elles dépendent du contexte local.

Tableau 1 : Objectifs assignés aux systèmes de culture innovants expérimentés dans le projet Phyto-Sol

| Indicateur | Objectif | Référence |
|---|----------|--------------------------|
| Indice de Fréquence de Traitement (IFT) | -50 % | Référence régionale 2012 |
| Quantité d'azote minéral (kg N/ha) | -30 % | Système de référence |
| Émissions de GES (kg eqCO ₂ /ha) | -50 % | Système de référence |
| Rendement (%) | ≥ | Système de référence |
| Temps de travail (h/ha) | < | Système de référence |
| Marge brute (/ha et /h) | ≥ | Système de référence |

Dans cet article, une synthèse des résultats des essais systèmes de culture est présentée et discutée site par site, puis les enseignements communs aux trois sites sont analysés. Les résultats du volet « solutions innovantes pour la conduite du colza » ne sont pas présentés dans cet article car ils ont déjà fait l'objet de nombreuses valorisations : article scientifique (Cadoux *et al.*, 2015), articles de vulgarisation (Sauzet et Cadoux, 2014 ; Valantin-Morison *et al.*, 2014 ; Cadoux et Sauzet, 2016a), dossier technique (Cadoux et Sauzet, 2016b).

1. Matériel et méthodes

Les expérimentations systèmes de culture du projet ont été mises en place sur trois sites (Figure 1) :

- « YLI » situé à Murs, dans l'Indre (36) en sols de limons-sableux hydromorphes
- « YAC », situé à Villedieu-Sur-Indre, dans l'Indre (36), en sols argilo-calcaires superficiels
- « YNO », situé à Doignies, dans le Nord (59) en sols limoneux profonds



Figure 1 : Localisation des sites

Les expérimentations ont été conduites sur la durée d'une rotation du système de culture innovant : 5 ans pour YLI (2010-2014) et 6 ans pour YAC (2010-2015) et YNO (2011-2016).

1.1 Dispositifs expérimentaux

Sur chacun des sites deux systèmes de culture ont été expérimentés : (i) un système de culture de référence (REF), représentatif des pratiques locales des agriculteurs et (ii) un système de culture innovant (INN) visant les objectifs assignés (Tableau 1). Tous les termes de la rotation de chaque système étaient présents chaque année, et répétés trois fois dans des blocs. Les parcelles unitaires mesuraient 288 m² pour YLI et YAC (12 m de large et 24 m de long) et 144 m² pour YNO (6 m de large et 24 m de long).

1.2 Règles de conduite des cultures

Les interventions culturales ont été effectuées avec le matériel agricole des agriculteurs chez qui étaient mis en place les essais. Les stratégies et règles de décisions (ex. pour la lutte contre les pucerons des épis du blé : traitement sur observation si seuil de 1 épi sur 2 colonisé atteint, avec report de la date de traitement d'une semaine pour laisser la possibilité aux auxiliaires de réguler les pucerons) étaient fixées *a priori* après échange avec les partenaires d'Arvalis et de l'ITB et ajustées si nécessaire à chaque nouvelle campagne culturale. Un pilote de Terres Inovia était chargé de décider du déclenchement ou non des interventions. Les rendements des cultures ont été mesurés en utilisant des moissonneuses d'expérimentation, sauf pour la betterave, dont le rendement était mesuré par pesée de placettes manuelles. Toutes les interventions culturales ont été enregistrées dans un fichier Excel. À partir de 2011, des synthèses annuelles ont été réalisées au format proposé par le RMT Systèmes de culture innovants, notamment pour formaliser l'évaluation des règles de décision du point de vue de l'expérimentateur et leur évolution.

1.3 Analyse des résultats

Tous les indicateurs ont été calculés chaque année pour chaque culture sur la base des interventions culturales réalisées. Les indicateurs obtenus pour chaque culture ont ensuite été moyennés pour obtenir les performances annuelles de l'assolement de chaque système de culture. Les indices de fréquence de traitements (IFT) ont été calculés sur Excel en utilisant les règles de calcul de DEPHY (traitements de semence non pris en compte et utilisation de la dose minimale homologuée pour chaque couple culture*produit). Les quantités d'azote minéral, et le temps de travail (temps lié aux interventions et donné par l'expérimentateur) ont été calculés sur Excel. Les émissions des GES ont été calculées avec le logiciel EGES®, après saisie des interventions dans l'outil. Le calcul EGES® se base sur la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV), intégrant : (i) les impacts directs de la conduite des cultures et (ii) les impacts indirects liés à la production des intrants et des énergies finales (gazole, électricité, gaz, etc.) mobilisés. Dans cette méthode, le recours à des forfaits permet de réaliser un inventaire des intrants, du carburant et de l'électricité consommés en fonction des pratiques culturales et du type de sol. Le pourcentage de rendement a été calculé culture par culture en comparant le rendement en système de référence et en système innovant. Pour les cultures du système innovant non présentes dans le système de référence, un rendement moyen régional a été défini par expertise de l'expérimentateur. La marge brute a été calculée sur Excel, en retranchant les charges opérationnelles (quantité d'intrants x coût des intrants pour l'année en question, donné par l'expérimentateur) au produit brut (rendement x prix des productions pour l'année d'après l'ITB pour la betterave, Terres Inovia pour le lin oléagineux, et FranceAgriMer pour les autres cultures). Pour des raisons de difficulté à calculer les charges de mécanisation *via* Excel, celles-ci n'ont pas été prises en compte dans le calcul de la marge. Cela peut constituer un biais dans la comparaison de la rentabilité des deux systèmes de culture puisque les systèmes innovants bénéficient d'une réduction de travail du sol et donc potentiellement des charges de mécanisation. L'analyse statistique de l'effet système a été faite par des analyses de variance avec le logiciel R (fonction *lm*).

La contribution au développement durable de chaque système de culture (SdC) a été calculée à l'aide des outils CRITER 5.4 et MASC 2.0, sur la base d'une synthèse pluriannuelle des pratiques. Cette synthèse est faite en tenant compte des interventions culturales réalisées et en écartant (i) les stratégies abandonnées car jugées non satisfaisantes pour atteindre les objectifs assignés, et (ii) les aléas non liés au système de culture. Les calculs économiques à partir de cette synthèse ont été faits sur la base de prix médians des années d'expérimentation. Pour des raisons de place dans cet article, seule la note de contribution globale au développement durable sera présentée, ainsi que le résultat d'un critère basique : la marge semi-nette, qui intègre les charges de mécanisation afin de palier à leur non prise en compte dans la marge calculée avec Excel.

2. Résultats et discussion

2.1 Site de Murs : innovation en limons hydromorphes du Centre-Val de Loire (YLI)

2.1.1 Contexte de production

L'essai YLI est situé à Murs, dans l'Indre, dans la petite région agricole du Boischaud Nord. Le climat est océanique dégradé. Les sols sont des limons sableux (11,7 % argile) hydromorphes, sensibles à la battance et l'érosion. Ils sont assez profonds et la réserve utile de la parcelle d'essai est estimée à 150 mm.

La parcelle est caractérisée par une forte pression adventices (ray-grass, brome, ombellifères...), et ravageurs (altises, limaces...) et une pression assez forte en termes de maladies.

2.1.2 Stratégies du système de culture innovant

La rotation courante dans la région est présentée en Figure 2. Le travail du sol se fait exclusivement en techniques culturales simplifiées, dont la profondeur varie selon la culture et l'état du sol. La rotation du système innovant n'est pas allongée mais un protéagineux est inséré (pois de printemps) pour l'apport d'azote atmosphérique (Figure 2). Le colza est positionné après le pois afin de maximiser la valorisation de l'azote. Du binage est réalisé sur tournesol quand les conditions le permettent. Les interventions sont pilotées avec observations et suivi des recommandations du Bulletin de Santé du Végétal (BSV) et des instituts techniques.

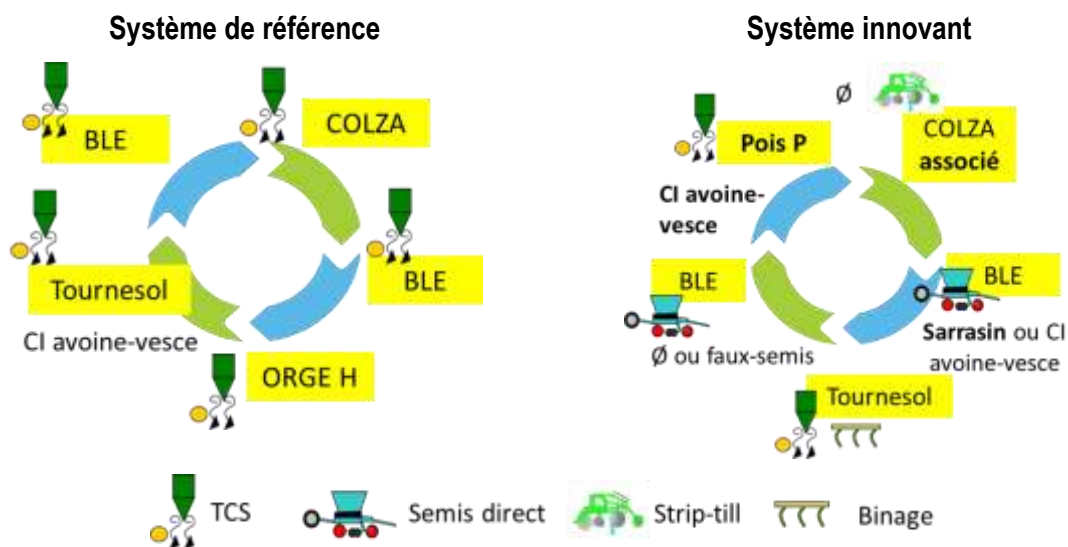


Figure 2 : Rotation et modalités de travail du sol des deux SdC de YLI

2.1.3 Maîtrise technique et agronomique du système de culture innovant

La maîtrise technique et agronomique du système innovant est globalement positif (Tableau 2). La réduction de travail du sol et l'arrêt de l'usage de la herse rotative ont permis d'améliorer les implantations. La maîtrise des adventices s'est dégradée notamment en termes de dicotylédones (anthrisque) du fait de la succession pois-colza.

Tableau 2 : Bilan de la maîtrise technique et agronomique du SdC innovant de YLI

| Stratégie | Bilan satisfaction |
|---|--|
| Gestion intercultures et travail du sol | ☺ Bonne maîtrise des implantations en céréales (Semis direct) et colza (strip-till) à condition de semer tôt, et en pois (non labour) ☹ Difficulté pour sécuriser la levée du tournesol en limitant le travail du sol (échec du semis direct) |
| Gestion adventices | ☺ Légère amélioration de la maîtrise des adventices en céréales (dicots) ☹ Apparition de vulpie en céréales ☹ Dégradation de la maîtrise des dicots (anthrisque notamment) dans la succession pois-colza |
| Gestion maladies | ☺ Bonne maîtrise globale malgré le programme fongicide allégé en blé |
| Gestion ravageurs | ☺ Bonne maîtrise globale ☹ Dégâts récurrents de limaces en tournesol notamment |
| Gestion de la nutrition azotée | ☺ Bonne maîtrise globale malgré des réductions de doses |

2.1.4 Performances des systèmes de culture

Le bilan des performances est également mitigé (Tableau 3). La réduction des quantités d'azote minéral, des émissions de GES et du temps de travail est conséquente. Le rendement et la marge brute sont nettement inférieurs en système innovant. La marge semi-nette, elle, est maintenue. La note de contribution au développement durable est élevée et améliorée par rapport au système de référence grâce à une amélioration de la dimension environnementale qui est maximale (5/5) tout comme la dimension économique (non montré).

Tableau 3 : Performances des deux SdC de YLI en moyenne sur les 5 ans d'essais. ¹performances calculées à partir de la synthèse pluriannuelle des interventions culturales. / = non testé, *, **, *** = significatif aux seuils respectifs de 5 %, 1 % et 0.1 %. NS = non significatif. Le chiffre entre parenthèse correspond au risque de première espèce.

| IFT | Ref. Régionale 2012 | Moy. REF | Moy. INN | Écart/réf. | Diff. Stat. |
|---|---------------------|----------|----------|------------|-------------|
| | SdC REF. | | | | |
| | | 4.9 | 4.2 | -14 % | / |
| | | 4.8 | | -13 % | / |
| Quantité N minéral (kgN/ha) | | 118 | 85 | -28 % | * |
| Emissions GES (kg eq-CO2/ha) | | 1953 | 1528 | -22 % | *** |
| Temps travail (h/ha) | | 1h44 | 1h30 | -14 % | NS (0.075) |
| Rendement (%/REF) | | 100 | 80 | -20 % | *** |
| Marge brute (€/ha) | | 947 | 757 | -20 % | *** |
| Marge brute (€/ha/h) | | 547 | 505 | -8 % | / |
| Marge semi-nette (€/ha)¹ | | 758 | 785 | +4 % | / |
| Marge semi-nette (€/ha/h)¹ | | 438 | 523 | +19 % | / |
| Note MASC durabilité globale¹ | | 5/7 | 6/7 | +1/7 | / |

L'IFT est légèrement réduit par rapport au système de référence et à la référence régionale mais l'objectif de -50% est loin d'être atteint. La réduction se fait surtout sur les fongicides (Figure 3). L'usage des insecticides a peu évolué notamment car le pois de printemps qui a remplacé l'orge est davantage soumis à la pression insectes. L'IFT augmente au cours des années, du fait notamment de la

dégradation de la maîtrise des adventices. L'IFT herbicide est élevé pour les deux systèmes, notamment pour l'IFT herbicides en intercultures qui est respectivement de 0.7 et 0.8 pour REF et INN (non montré).

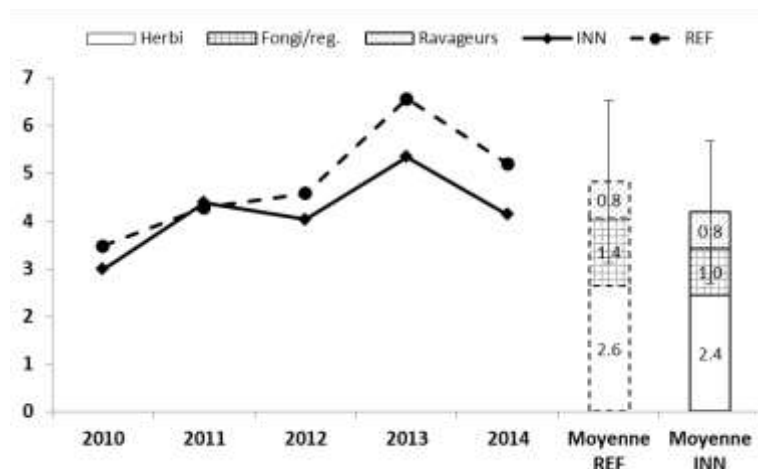


Figure 3 : Évolution et moyenne pluriannuelle de l'IFT des 2 SdC de YLI

2.1.5 Principaux enseignements en limons hydromorphes du Centre-Val de Loire

Stratégie d'insertion des légumineuses : l'insertion du pois de printemps, de couverts de légumineuses en interculture et associé au colza s'est avérée très efficace. Cette stratégie a permis de réduire d'environ 30% les quantités d'azote minéral et d'environ 20% les émissions de GES à l'échelle de la rotation. Des mesures post essai ont été faites sur un colza non fertilisé implanté sur toute la parcelle pour répondre à deux questions : (i) après une rotation, y a-t-il une augmentation de l'azote disponible dans les parcelles innovantes (comparaison de l'azote absorbé par le colza non fertilisé au pic d'absorption dans les parcelles des deux systèmes ayant un même précédent : blé de tournesol et blé de colza) ; (ii) après une rotation, y a-t-il une augmentation de l'azote disponible pour le colza associé après pois des parcelles innovantes par rapport au colza seul cultivé après blé des parcelles référence ? En moyenne, la fourniture d'azote est plus élevée dans les parcelles innovantes (non montré). Avec le même précédent (question 1) l'effet varie de +5 à +17 kg N/ha mais n'est pas significatif ($p=0,43$). Le positionnement du colza après pois et en mélange avec légumineuses a conduit à un supplément d'absorption d'azote significativement plus important ($p=0,04$) : +43 kg N/ha en moyenne (question 2). L'effet « système » ne peut donc pas être démontré. Les effets précédents protéagineux et association à des légumineuses sont, eux, confirmés. Toutefois, ils ne semblent pas être cumulatifs car les références Terres Inovia montrent que l'effet moyen « précédent protéagineux » est de 40 kg/ha (Champolivier *et al.*, 2014).

2.2 Site de Villedieu-Sur-Indre : innovation en argilo-calcaires superficiels de Champagne Berrichonne (YAC)

2.2.1 Contexte de production

L'essai YAC est situé à Villedieu-Sur-Indre, dans l'Indre, dans la petite région agricole de la Champagne berrichonne. Le climat est océanique dégradé. Les sols sont des argilo-calcaires (26 % argile) superficiels et caillouteux, sains. Ils sont superficiels et la réserve utile de la parcelle d'essai est estimée à 60 mm.

La parcelle est caractérisée par une très forte pression adventices (géraniums, vulpins...), et ravageurs (charançons, limaces, gibier...) et une pression moyenne à faible en termes de maladies.

2.2.2 Stratégies du système de culture innovant

La rotation courante dans la région est présentée en Figure 4. Le travail du sol se fait exclusivement en techniques culturales simplifiées, dont la profondeur varie selon la culture et l'état du sol. La rotation du système innovant est allongée avec introduction, d'un protéagineux (pois d'hiver) qui est associé à un couvert d'orge d'hiver, et d'une culture de printemps : le tournesol afin de perturber les adventices (Figure 4). Le colza est positionné après le pois afin de maximiser la valorisation de l'azote. Des couverts intégrant des légumineuses sont implantés dans les intercultures longues et courtes. Le travail du sol est limité autant que possible pour éviter les levées d'adventices (géranium notamment). Les interventions sont pilotées avec observations et suivi des recommandations du BSV et des instituts techniques.

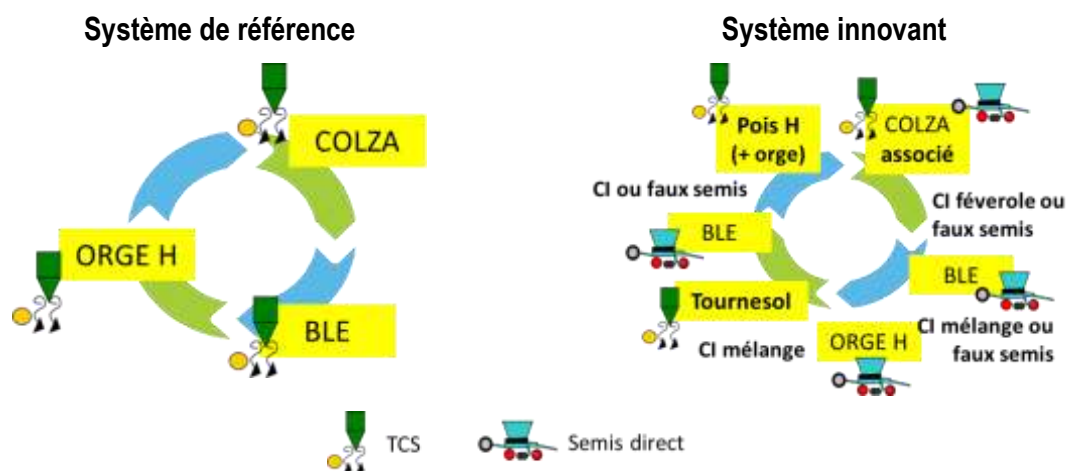


Figure 4 : Rotation et modalités de travail du sol des deux SdC de YAC

2.2.3 Maîtrise technique et agronomique du système de culture innovant

La maîtrise technique et agronomique du système innovant est globalement bonne à une exception près (Tableau 4). La gestion des implantations est globalement très bonne avec le semis direct en céréales et le travail profond sans retournement sur pois et tournesol. La gestion des adventices est bonne pour ces cultures.

Tableau 4 : Bilan de la maîtrise technique et agronomique du SdC innovant de YAC

| Stratégie | Bilan satisfaction |
|---|---|
| Gestion intercultures et travail du sol | <ul style="list-style-type: none"> ☺ Très bonne maîtrise des implantations en céréales (Semis direct) et pois et tournesol (non labour) ☺ Bonne réussite des couverts d'interculture incluant des légumineuses ☹ Problèmes d'implantation du colza en semis direct après le pois qui laisse un sol compacté en surface |
| Gestion adventices | <ul style="list-style-type: none"> ☺ Amélioration globale de la gestion des adventices, notamment grâce à la complémentarité entre le semis direct sans flux de terre qui limite les levées et les associations qui améliorent la couverture du sol ☹ La succession pois-colza dégrade la maîtrise des adventices dicotylédones et empêche le semis du colza en direct l'exposant aux levées de géraniums |
| Gestion maladies | ☺ Très bonne maîtrise globale malgré le programme fongicide allégé |
| Gestion ravageurs | <ul style="list-style-type: none"> ☺ Bonne maîtrise globale ☹ Dégâts récurrents d'oiseaux et gibier sur tournesol accentués par l'effet dispositif (petites parcelles). |
| Gestion de la nutrition azotée | ☺ Bonne maîtrise globale malgré de fortes réductions de doses |

En revanche, la succession pois-colza a conduit à des problèmes d'implantation et de maîtrise des adventices en colza. Elle s'avère non adaptée au milieu et a pénalisé les performances du colza et du système innovant. De même, le tournesol a été pénalisé par des dégâts récurrents d'oiseaux et de gibier, sans doute accentués par « l'effet petites parcelles » et la rareté de la culture dans la région.

2.2.4 Performances des systèmes de culture

Malgré les problèmes de maîtrise exposés ci-dessus, les performances du système innovant sont globalement très bonnes (Tableau 5). Les quantités d'azote minéral, les émissions de GES et le temps de travail sont nettement réduits. Les rendements baissent d'environ 5 % mais la marge brute est au moins équivalente, et supérieure quand elle est ramenée à l'heure de travail. De même, la marge semi-nette qui intègre les charges de mécanisation est considérablement augmentée. La note de contribution au développement durable est élevée et améliorée par rapport au système de référence grâce à une amélioration de la dimension environnementale (4/5 au lieu de 2/5 pour le SdC REF, non montré).

Tableau 5 : Performances des deux SdC de YAC en moyenne sur les 6 ans d'essais. ¹performances calculées à partir de la synthèse pluriannuelle des interventions culturales. / = non testé, *, **, *** = significatif aux seuils respectifs de 5 %, 1 % et 0.1 %. NS = non significatif. Le chiffre entre parenthèse correspond au risque de première espèce.

| | | Moy. REF | Moy. INN | Écart/réf. | Diff. Stat. |
|---|---------------------|----------|----------|------------|-------------|
| IFT | Réf. Régionale 2012 | 4.9 | 4.5 | -8 % | NS (0.17) |
| | SdC REF. | 5.7 | | -21 % | *** |
| Quantité N minéral (kg N/ha) | | 150 | 100 | -34 % | *** |
| Emissions GES (kg eq-CO ₂ /ha) | | 2441 | 1711 | -30 % | *** |
| Temps travail (h/ha) | | 1h46 | 1h32 | -14 % | NS (0.28) |
| Rendement (%/REF) | | 100 | 95 | -5 % | * |
| Marge brute (€/ha) | | 584 | 621 | +6 % | NS (0.165) |
| Marge brute (€/ha/h) | | 330 | 406 | +23 % | / |
| Marge semi-nette (€/ha) ¹ | | 503 | 710 | +41 % | / |
| Marge semi-nette (€/ha/h) ¹ | | 284 | 464 | +63 % | / |
| Note MASC durabilité globale ¹ | | 4/7 | 6/7 | +2/7 | / |

L'IFT total est réduit de 21 % par rapport au système de référence mais de seulement 8 % par rapport à la référence régionale (Tableau 5). Toutefois, on remarque que l'IFT total du système de référence est plus élevé que la référence régionale, alors que ce système est déjà optimisé par rapport aux pratiques locales des agriculteurs (Sauzet, comm. pers., 2017). La valeur de la référence régionale semble donc peu représentative pour ce milieu argilo-calcaire superficiel. La réduction de l'IFT du système innovant se fait sur toutes les catégories d'IFT et particulièrement sur les insecticides (Figure 5). L'IFT total ne diminue pas au cours des années, du fait notamment des difficultés d'implantation du colza après le pois qui ne permettent pas les réductions d'herbicides et insecticides attendues. L'IFT herbicide en culture est réduit de 39 % dans le système de culture innovant, mais l'IFT herbicides en intercultures passe de 0.3 dans le système de culture de référence à 0.8 dans le système innovant (non montré).

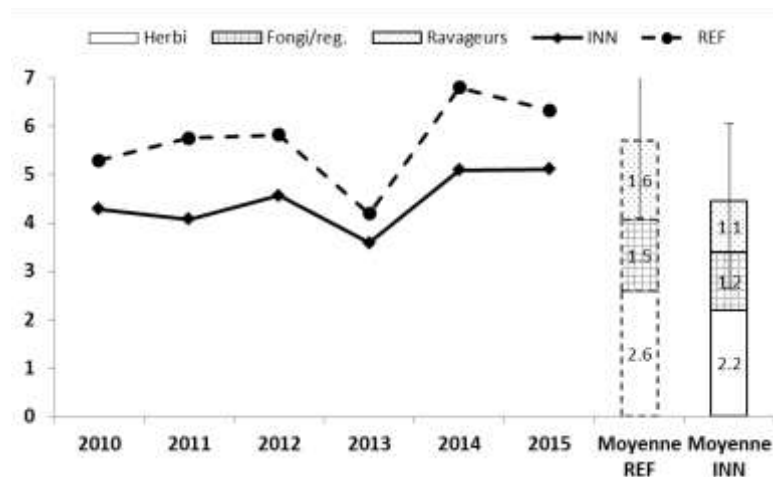


Figure 5 : Évolution et moyenne pluriannuelle de l'IFT des 2 SdC de YAC

2.2.5 Principaux enseignements en argilo-calcaires superficiels de Champagne Berrichonne

- **Succession pois-colza en argilo-calcaire à forte pression géranium** : la succession pois-colza a été choisie pour maximiser la valorisation de l'azote après pois. Toutefois, après six ans d'essais, elle s'avère inadaptée au milieu. En effet, cette succession accentue les difficultés de maîtrise des adventices dicotylédones. Par ailleurs, le pois laisse un sol souvent compacté en surface après récolte, ce qui pénalise la levée du colza en cas de semis direct. Si un travail du sol est effectué pour pallier ce problème, il favorise les levées de géranium qui posent des problèmes de concurrence dans ce milieu. Ces résultats confirment d'autres observations faites dans ce type de milieu chez des agriculteurs ou des partenaires. La succession pois-colza peut donc être bénéfique dans certains milieux (ex. sols moyens à profonds sans pression dicotylédones forte) mais pas en argilo-calcaires superficiels avec forte problématique adventices dicotylédones.
- **Association d'un couvert de céréales au pois** : l'intérêt d'associer une céréale au pois d'hiver a d'abord été d'augmenter la couverture hivernale du sol pour mieux contrôler le développement des adventices. Cette fonction a été remplie avec l'association d'une avoine rude, tout en permettant une impasse de désherbage en entrée d'hiver. L'association avec une orge d'hiver a permis en plus de limiter le développement des maladies dans le pois, de fournir un tuteur et éventuellement de permettre une récolte complémentaire (destruction de la céréale par l'anti-graminée du pois en cas de levée de vulpins au printemps). En cas de double récolte, la vente nécessite un triage.
- **Stratégie de travail minimum du sol et d'association de cultures pour le contrôle des adventices** : la maîtrise des adventices (vulpin, ray-grass, géranium notamment) est un enjeu majeur dans les argilo-calcaires superficiels. Dans un contexte de forte pression, l'essai YAC a permis de montrer l'intérêt (i) de la diversification de la rotation colza-blé-orge, (ii) du recours au semis direct pour éviter les levées notamment pour le géranium et (iii) des couverts associés au colza et pois pour atténuer le développement des adventices levées. Les faux semis avant colza se sont tous soldés par des échecs car ils stimulent les levées de géranium en même temps que le colza. De même le désherbage mécanique est difficile à mobiliser (bineuse et surtout herse étrille) car chaque passage stimule de nouvelles levées.

2.3 Site de Doignies : innovation en limons profonds des Hauts-de-France (YNO)

2.3.1 Contexte de production

L'essai YNO est situé à Doignies, à la limite entre le Nord et le Pas-de-Calais. Le climat est océanique. Les sols sont des limons (14 % argile) profonds et sains. La réserve utile de la parcelle d'essai est estimée à 200 mm.

La parcelle est caractérisée par une pression adventices et maladies moyenne, et une pression ravageurs assez forte (altises du lin, limaces...).

2.3.2 Stratégies du système de culture innovant

La rotation courante dans la région est présentée en Figure 6. Le labour est systématique avant betterave et féverole. Le colza est implanté en non labour et le travail du sol avant blé dépend de l'état structural. La rotation du système innovant est diversifiée avec l'introduction du lin oléagineux de printemps avant betterave (Figure 6). Le colza est positionné après féverole de printemps afin de maximiser la valorisation de l'azote. Une variété très précoce est associée à la variété principale pour le contrôle des méligèthes. Une attention particulière a été portée sur le choix de variétés résistantes ou tolérantes aux maladies, et le blé a été conduit en itinéraire technique intégré : semis fin octobre, mélange variétal, densité limitée, réduction des doses d'azote. La betterave et la féverole ont été implantées avec passage de strip-till, puis binées et traitées sur le rang (herbicides et insecticides) quand c'était possible. Les interventions sont pilotées avec observations et suivi des recommandations du BSV et des instituts techniques, en augmentant les seuils de déclenchement.

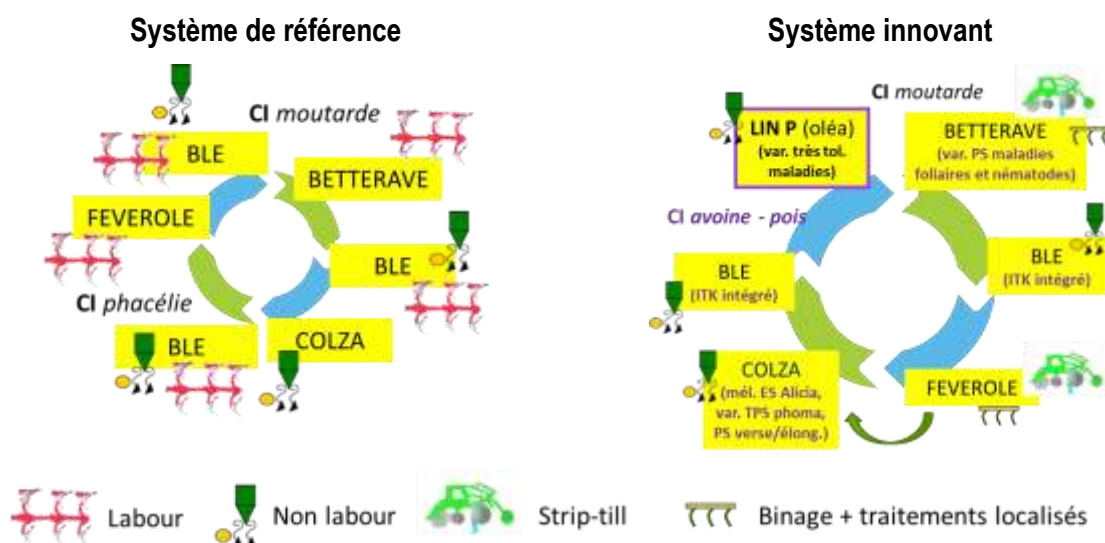


Figure 6 : Rotation et modalités de travail du sol des deux SdC de YNO

2.3.3 Maîtrise technique et agronomique du système de culture innovant

La maîtrise technique et agronomique du système de culture innovant est mitigée (Tableau 6). La maîtrise des implantations en travail réduit du sol a été très bonne sur blé, lin et féverole. En revanche, des difficultés d'implantation ont été rencontrées : (i) sur colza du fait de l'implantation tardive et du sol sec après féverole et (ii) sur betterave à cause de difficultés à régler le strip-till ayant causé des pertes de plantes et de rendement. Les maladies et les ravageurs ont globalement été bien maîtrisés, à l'exception du lin qui a subi de gros dégâts d'altises et des pertes de rendement parfois importantes. Tous ces éléments ont pénalisé les performances du système innovant.

Tableau 6 : Bilan de la maîtrise technique et agronomique du SdC innovant de YNO

| Stratégie | Bilan satisfaction |
|---|---|
| Gestion intercultures et travail du sol | ☺ Bonne maîtrise des implantations de blé (non labour voire semis direct si le sol n'est pas compacté), lin (non labour) et féverole (strip-till) ☹ Difficultés d'implantation du colza (semis tardif et sol sec après féverole) et des betteraves (réglages du strip-till Yetter) => peuplements irréguliers et parfois pertes de rendement |
| Gestion adventices | ☺ Bonne maîtrise en blé, lin et betterave ☹ Maîtrise moyenne en féverole (grand écartement) et colza (semis tardifs/croissance lente) ⊗ Apparition de chardons |
| Gestion maladies | ☺ Bonne maîtrise globale malgré la forte réduction des fongicides |
| Gestion ravageurs | ☺ Bonne maîtrise en blé, betterave et féverole ☹ Dégâts récurrents de limaces, notamment en colza (semis tardifs/croissance lente) ⊗ Impossible de gérer correctement les dégâts d'altises sur le lin |
| Gestion de la nutrition azotée | ☺ Bonne maîtrise globale malgré les réductions de doses |

2.3.4 Performances des systèmes de culture

Le bilan des performances du système innovant est mitigé (Tableau 7). Les quantités d'azote minéral, les émissions de GES et le temps de travail sont réduits d'environ 20 %. Les rendements baissent d'environ 20 %. Les marges/ha sont inférieures en système innovant et très légèrement supérieures quand elles sont ramenées à l'heure de travail. La note de contribution au développement durable est élevée et identique pour les 2 systèmes, mais cache des différences : si la note de la dimension sociale est passée de 4/5 à 3/5 en innovant, la note de la dimension environnementale est passée de 3/5 à 5/5 (non montré). La note de la dimension économique est 5/5 dans les deux cas (non montré).

L'IFT total est réduit de 16 % par rapport au système de référence et de 30 % par rapport à la référence régionale (Tableau 7). La réduction se fait exclusivement sur l'IFT fongicides qui passe de 1.7 à 0.6 (Figure 7). L'IFT total ne diminue pas au cours des années, du fait notamment des difficultés de maîtrise des adventices. L'IFT herbicide en culture est légèrement réduit en système innovant, mais l'IFT herbicides en intercultures fait un bond de 0 dans le système de culture de référence à 0.7 dans le système innovant (non montré).

Tableau 7 : Performances des deux SdC de YNO en moyenne sur les 6 ans d'essais. ¹performances calculées à partir de la synthèse pluriannuelle des interventions culturales. / = non testé, *, **, *** = significatif aux seuils respectifs de 5 %, 1 % et 0.1 %. NS = non significatif. Le chiffre entre parenthèse correspond au risque de première espèce.

| IFT | | Moy. REF | Moy. INN | Écart/réf. | Diff. Stat. |
|---|---------------------|----------|----------|------------|-------------|
| | Réf. Régionale 2012 | 5.4 | 3.8 | -30 % | * |
| SdC REF. | 4.5 | -16 % | | NS | |
| Quantité N minéral (kg N/ha) | 133 | 106 | -20 % | *** | |
| Emissions GES (kg eq-CO ₂ /ha) | 2386 | 1984 | -17 % | ** | |
| Temps travail (h/ha) | 4h59 | 3h59 | -20 % | * | |
| Rendement (%/REF) | 100 | 79 | -21 % | *** | |
| Marge brute (€/ha) | 1048 | 922 | -12 % | *** | |
| Marge brute (€/ha/h) | 210 | 231 | +10 | / | |
| Marge semi-nette (€/ha) ¹ | 1296 | 1041 | -20 % | / | |
| Marge semi-nette (€/ha/h) ¹ | 303 | 319 | +5 % | / | |
| Note MASC durabilité globale ¹ | 6/7 | 6/7 | / | / | |

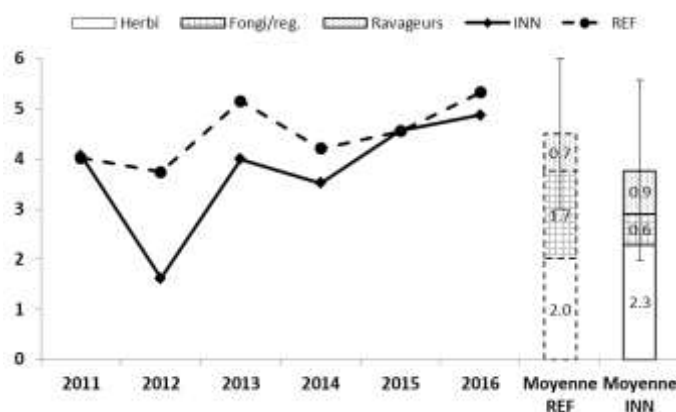


Figure 7 : Évolution et moyenne pluriannuelle de l'IFT des 2 SdC de YNO

2.3.5 Principaux enseignements en limons profonds des Hauts-de-France

- **Stratégie de maîtrise des maladies** : la stratégie innovante de gestion des maladies est la plus satisfaisante de l'essai YNO car elle a permis de réduire l'IFT fongicides et régulateurs en moyenne de 65 % par rapport au système de référence tout en maintenant une maîtrise satisfaisante des maladies et de la verse. La stratégie innovante et son efficacité s'appuient sur : (i) l'introduction d'une culture sur laquelle on réalise une impasse fongicide (lin), (ii) l'augmentation de la tolérance des dégâts permettant notamment une impasse fongicide sur féverole, (iii) le choix de variétés résistantes permettant notamment une quasi impasse sur betterave et lin, et (iv) la mise en œuvre d'itinéraires techniques intégrés en blé (semis fin octobre, mélange variétal, densité maîtrisée, observations pour le déclenchement des interventions) permettant une réduction des fongicides et régulateurs de plus de 50 %.
- **Maîtrise strip-till et couplage avec binage et désherbage localisé** : des mises au point en cours d'essai ont été nécessaires pour maîtriser l'usage du strip-till et son couplage au binage. Tout d'abord, réussir le semis (betterave et féverole) au printemps après passage du strip-till à l'automne a nécessité le recours à un GPS de précision centimétrique. Ensuite, pour pouvoir biner en bonnes conditions dans l'inter-rang non travaillé, il s'est avéré nécessaire de faire en plus une préparation très superficielle du sol. Ce couplage strip-till x travail très superficiel x binage x désherbage localisé sur le rang s'avère efficace pour une bonne maîtrise des adventices tout en permettant de réduire l'usage des herbicides. La localisation des traitements insecticides sur le rang a également été utilisée avec succès sur colza notamment.

2.4 Enseignements communs aux trois sites

2.4.1 Colza associé à des légumineuses gélives

La technique des colzas associés a fait l'objet de nombreuses expérimentations analytiques du projet Phyto-Sol. Le bilan de ces essais est que l'association avec des légumineuses gélives (féverole, trèfle d'Alexandrie mono-coupe, lentille, fenugrec, gesse ou vesces notamment) permet dans de nombreuses situations (i) d'améliorer la nutrition azotée, le comportement du colza et la fertilité des sols, (ii) d'accroître la concurrence vis-à-vis des adventices, et (iii) de contribuer à limiter les dégâts d'insectes. Ces bénéfices permettent de réduire l'usage de l'azote minéral et des produits phytosanitaires (herbicides et insecticides) ce qui s'est traduit par une reconnaissance de la technique comme action standardisée d'économie de produits phytopharmaceutiques (1.5 CEPP/ha). Un guide technique a été

réalisé pour donner des conseils opérationnels de mise en œuvre (http://www.terresinovia.fr/fileadmin/cetiom/kiosque/Terres-Inovia_guide_colza_associe2016.pdf).

La technique a été testée dans les 3 sites d'essais systèmes du projet Phyto-Sol. Elle a été abandonnée dans le Nord (YNO) car l'implantation du colza après féverole était trop tardive pour un développement satisfaisant des légumineuses. Elle a été maintenue dans les 2 essais de l'Indre (YAC et YLI) du fait de bénéfices confirmés. Toutefois, certains services sont redondants avec ceux obtenus grâce au précédent protéagineux (ex. augmentation de l'azote disponible au colza). Sauf à rechercher des bénéfices particuliers (ex. augmentation de la capacité du colza à supporter l'hydromorphie ou perturbation des insectes grâce à la féverole), le couplage colza associé à des légumineuses et positionnement après protéagineux ne semble donc pas optimal.

2.4.2 Succession protéagineux-colza

La succession protéagineux-colza a été mise en œuvre dans les 3 systèmes de culture innovants. Les performances de cette succession ont été très mitigées alors qu'un précédent projet avait mis en évidence la faisabilité dans une diversité de situations (Carrouée et al., 2012) et un bénéfice en termes d'azote permettant une réduction de la fertilisation azotée en moyenne de 40 kg N/ha (Champolivier et al., 2014). Les essais Phyto-Sol ont en fait permis de tester la technique dans d'autres types de situations et ainsi de préciser les conditions de réussite :

- **Succession adaptée pour maximiser la valorisation de l'azote si** : sol moyen à profond, peu ou pas de problème d'adventices dicotylédones, récolte précoce du protéagineux et colza implanté avec travail du sol ;
- **Succession adaptée sous réserve** : en sol moyen à profond avec récolte précoce du protéagineux, s'il y a un risque d'adventices dicotylédones, à tester si la priorité est la valorisation de l'azote et à proscrire si la priorité est la maîtrise des adventices. Risque de mal valoriser les bénéfices en cas d'apport de produit organique fertilisant ou d'association de légumineuses gélives au colza (redondance de service) ;
- **Succession non adaptée** : sol très superficiel, semis direct du colza, problème de maîtrise des adventices dicotylédones et/ou récolte tardive du protéagineux.

2.4.3 Réduction du travail du sol et usage du glyphosate

Les stratégies de réduction du travail du sol ont permis dans les 3 systèmes de culture innovants de réduire le temps de travail à l'hectare et les charges de mécanisation. Ces techniques, couplées avec d'autres leviers de gestion des adventices ont permis de réduire l'usage des herbicides en culture (-15 à -39 % selon les sites), mais ont conduit à une augmentation systématique de l'usage des herbicides en interculture et notamment du glyphosate, dans un contexte où l'on ne cherchait pas à s'en passer. L'IFT herbicide (culture et interculture), a lui, peu évolué (-15 à +10 % selon les sites). Les 3 systèmes de culture innovants mis au point sont donc dépendants des herbicides d'interculture pour désherber l'interculture avant semis direct notamment, se traduisant par un IFT de 0.7 à 0.8 selon les sites. Une éventuelle interdiction du glyphosate nécessiterait de revoir complètement les stratégies et pourrait conduire à une impasse notamment dans les conditions de YAC. En effet, la très forte pression en géraniums (levées toute l'année, stock persistant) incite à réduire autant que possible le travail du sol mais nécessite parfois le recours au glyphosate. À noter que l'agriculteur qui héberge l'expérimentation YAC a abandonné le labour à cause de la forte charge en cailloux. Trouver des alternatives au glyphosate dans ce milieu nécessitera donc d'importants travaux de recherche et développement.

2.4.4 Innovations pour concilier des objectifs multiples et ambitieux

Les objectifs de multi-performance assignés aux systèmes de culture innovants du projet Phyto-Sol étaient très ambitieux, à la fois en termes de diversité (IFT, réduction azote minéral, GES, temps de travail, rendements, marges) et de niveau de rupture par rapport au système de référence (-50 % IFT et GES et -30 % azote notamment). Si les performances ont globalement été améliorées dans les systèmes innovants, aucun des systèmes testés dans le cadre des essais Phyto-Sol n'a atteint tous les objectifs assignés, notamment la réduction de 50 % de l'IFT et des GES. Ces résultats montrent que pour concilier des objectifs de rupture multiples et ambitieux, plus de ruptures que celles testées dans le cadre des essais Phyto-Sol sont nécessaires, et nécessitent d'importants travaux de recherche et développement. C'est notamment l'objectif du projet inter-instituts Syppre (<http://www.terresinovia.fr/terres-inovia/actions-phares/syppre/>), qui s'organise autour des cinq plateformes d'expérimentation de systèmes de culture et de réseaux d'agriculteurs innovants : en limons profonds de Picardie, en terres de craies de Champagne, en sols argilo-calcaires du Berry, sur les coteaux argilo-calcaires du Lauragais et dans les terres humifères du Béarn.

Conclusion

Les systèmes de culture innovants expérimentés n'ont pas vocation à être copiés-collés dans les exploitations agricoles. Ils constituent un exemple possible qui met avant tout en évidence des stratégies (pratiques et combinaisons de pratiques) et des conditions de réussite ou d'échecs destinées à inspirer des innovations en ferme. La particularité du projet Phyto-Sol est d'avoir visé la multi-performance (réduction de l'usage des produits phytosanitaires, de l'azote minéral, des émissions de GES, du temps de travail, maintien des rendements et des marges), le tout sous contrainte de travail réduit du sol, stratégie qui est adoptée par un nombre croissant d'agriculteurs.

Plusieurs innovations ont montré leur intérêt comme l'association de légumineuses gélives au colza, ou l'introduction de légumineuses en culture principale et en couverts qui ont permis de réduire d'environ 30% les quantités d'azote. La succession protéagineux-colza utilisée dans les 3 sites a posé des problèmes qui ont permis de préciser les situations où elle est adaptée et celles où elle ne l'est pas. D'autres enseignements spécifiques de chaque site ont également été tirés comme l'intérêt d'associer un couvert de céréales au pois d'hiver dans les argilo-calcaires superficiels du Centre-Val de Loire.

Aucun système n'a réussi à concilier tous les objectifs assignés et notamment l'objectif de réduction de l'IFT de 50 %, du fait de pressions fortes de bioagresseurs. De nouvelles expérimentations sont nécessaires pour tester davantage d'innovations. C'est l'objectif du projet inter-instituts Syppre.

Références bibliographiques

AGRESTE, 2014. Enquête pratiques culturales 2011. Principaux résultats. AGRESTE les dossiers 21, juillet 2014.

Cadoux S., Sauzet G., Valantin-Morison M., Pontet C., Champolivier L., Robert C., Lieven J., Flénet F., Mangenot O., Fauvin P., Landé N., 2015. Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. OCL 22(3), D302.

Cadoux S., Sauzet G., 2016a. Colza associé, des bénéfices agronomiques confirmés. Perspectives Agricoles 437, 56-58.

Cadoux S., Sauzet G., 2016b. Colza associé à un couvert de légumineuses gélives. Les points techniques Terres Inovia. 27p.

Carrouée B., et al., 2012. Introduction du pois protéagineux dans des rotations à base de céréales à paille et colza : impacts sur les performances économiques et environnementales. Innovations Agronomiques 25, 125-142.

Cellier P., Schneider A., Thiébeau P., Vertès F., 2015. Impacts environnementaux de l'introduction de légumineuses dans les systèmes de production. In Schneider A. et Huyghe C. (Eds), Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, Editions Quæ, Versailles, France, 471p.

Champolivier L., et al., 2014. Nouvelle réglette azote colza 2014, paramétrage et évaluation. Synthèse technique Terres Inovia, 130p.

Derpsch R., et al., 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural & Biological Engineering*, 3 (1), 1-26.

Duru M., et al., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(4), 1259-81.

Guillou M et al. 2013. Le projet agro-écologique: vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement. Propositions pour le ministre, INRA–Agreenium.

Guizouarn K., 2015. Mise en pratique du schéma 2BSvs dans le groupe industriel Sofiprotéol : étude de cas sur toute la filière (de l'agriculteur au pétrolier). *OCL* 22 (1), D106.

Labreuche J., Le Souder C., Castillon P., Ouvry J.F., Réal B., Germon J.C., de Tourdonnet S., 2007. Evaluation des impacts environnementaux des Techniques Culturelles Sans Labour (TCSL) en France. ADEME-ARVALIS Institut du végétal-INRA-APCA-AREAS-ITB-CETIOM-IFVV, 390p.

Landé N., Sauzet G., Le Ny F., Leclech N., Denis M., Labreuche J., Aubertot J.N., Descorps C., Mestries E., Dumans P., Petit M.S., Flénet F., 2013. Performances, solutions techniques et conception de systèmes de culture pour accompagner le développement des techniques culturales simplifiées. *Innovations Agronomiques* 30, 103-124.

Malézieux E., 2012. Designing cropping systems from nature. *Agronomy for sustainable development*. 32(1):15-29.

Meynard J-M., et al., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. In: Darnhofer I., Gibbon D., Dedieu B., (Eds). *Farming Systems Research into the 21st Century : The New Dynamic*. Springer Netherlands. p. 405-29.

Roger-Estrade J., Labreuche J., Boizard H., 2014. Importance du travail du sol : typologie des modes de mise en œuvre et effets sur le rendement des cultures. In *Faut-il travailler le sol? Acquis et innovation pour une agriculture durable*. Coord. Labreuche J., Laurent F. et Roger-Estrade J. Editions Quæ, Versailles, pp. 11–25.

Sauzet G., Cadoux S., 2014. Association colza-légumineuses : un système qui a fait ses preuves. *Perspectives Agricoles* 423, 56-60.

Terres Univia, 2017. Sauvons le colza français. Dossier de presse, 15p.

Valantin-Morison M., David C., Cadoux S., Lorin M., Celette F. Amossé C., Basset A., 2014. Association d'une culture de rente et espèces compagnes permettant la fourniture de services écosystémiques. *Innovations Agronomiques* 40, 93-112.

Wezel A., et al., 2014. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. *Agronomy for sustainable development* 34(1), 1-20.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

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* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).