

ROTATIONS COURTES

DIVERSIFIER LES CULTURES

et accroître la fertilité des sols

Les systèmes de culture expérimentés sur les plateformes Syppre du Berry et du Lauragais ont pour enjeux majeurs l'amélioration de la fertilité des sols et du contrôle des adventices.

Les rotations courtes largement pratiquées en Berry (colza-blé-orge) et en Lauragais (tournesol-blé dur) ont conduit à une dégradation de la maîtrise des adventices. Sur les plateformes Syppre, la pression adventices est importante en dicotylédones et graminées résistantes aux herbicides des groupes HRAC A et B (vulpin en Berry, et ray-grass en Lauragais).

Autre enjeu majeur commun : la fertilité des sols. Dans le Lauragais, les sols de coteaux sont soumis à un risque érosif très élevé, notamment lors des pluies de printemps, qu'il convient de réduire. Dans le Berry, l'amélioration de la fertilité des sols est surtout recherchée pour pallier à la faible capacité de minéralisation des sols argilo-calcaires caillouteux, afin d'assurer une croissance dynamique et donc une meilleure robustesse des cultures - notamment pour le colza, soumis à de fortes pressions de ravageurs d'automne.

Une refonte profonde des systèmes de culture

Pour répondre aux enjeux locaux et de multiperformance, des orientations stratégiques assez proches ont été adoptées dans les deux situations. Les rotations (*figure 1*) ont été fortement allongées et diversifiées afin, surtout, de rompre le cycle des adventices, mais également des maladies. Des légumineuses ont été insérées en cultures principales et en couverts pour introduire de l'azote symbiotique. Enfin une forte réduction du travail du sol incluant du semis direct et l'utilisation quasi systématique de couverts végétaux sont mobilisés pour augmenter la fertilité.

Une amélioration de la fertilité déjà visible

Dans le Lauragais, une forte réduction du travail du sol a été mise en œuvre dès le départ de l'expérimentation pour limiter le risque érosif. Le semis direct est utilisé sur les céréales, le pois d'hiver, les

En savoir plus

Une synthèse des enseignements positifs et négatifs après trois ans d'expérimentation de ces systèmes innovants est disponible sur <http://arvalis.info/105>



L'érosion des sols, comme dans cette parcelle de tournesol du système témoin implanté en labour, est une problématique caractéristique des coteaux du Lauragais.

SYSTÈMES INNOVANTS : des rotations fortement allongées

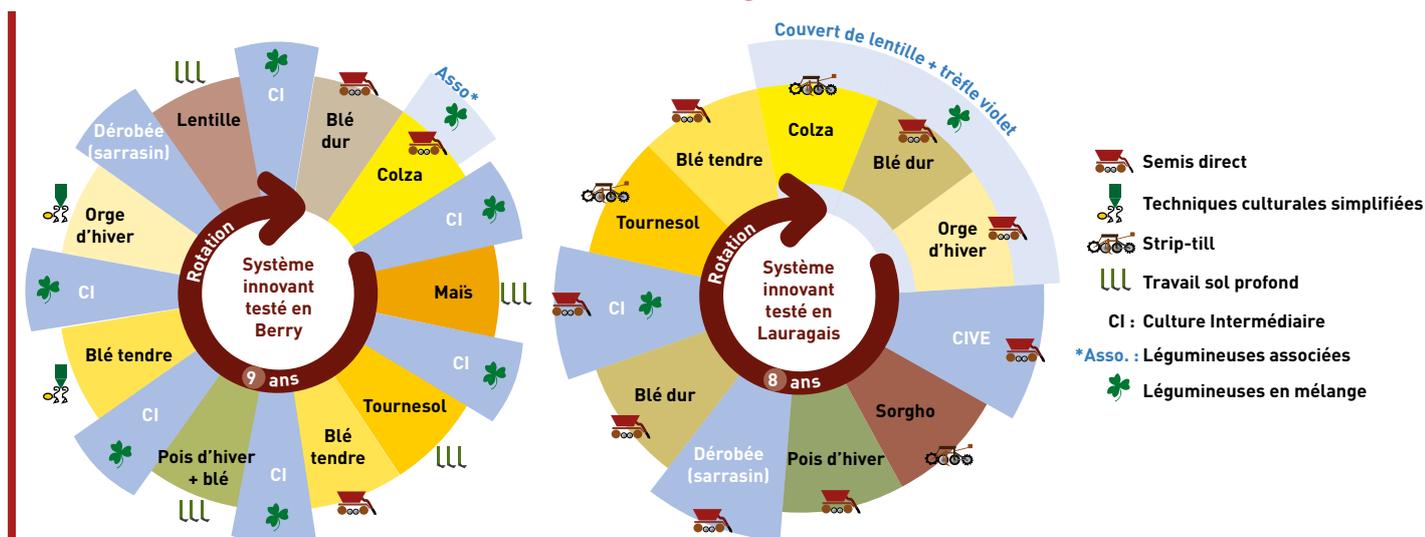


Figure 1 : Rotations expérimentées sur les plateformes Syppre du Berry (à gauche) et du Lauragais (à droite).

couverts d'intercultures et les cultures dérobées (sarrasin et cultures intermédiaires à valorisation énergétique), avec succès. Le tournesol et le colza, plus sensibles à l'enracinement, sont implantés après passage de strip-till, de même que le sorgho. En complément, des couverts végétaux sont implantés quasi systématiquement pour couvrir le sol le plus longtemps possible.

L'implantation des couverts en juillet donne des résultats aléatoires du fait des faibles pluies estivales et des alternatives sont actuellement en réflexion : semis sous couvert du précédent, ou semis plus tardif en août. Le choix des espèces a été amélioré : le mélange phacélie-féverole avant tournesol permet de mieux contrôler les levées d'adventices dans le couvert que la féverole seule, même si l'efficacité n'est pas suffisante, notamment vis-à-vis du ray-grass.

Par ailleurs, la difficulté à contrôler les repousses d'avoine dans le sorgho en semis direct a conduit à

privilégier le triticale comme culture intermédiaire à valorisation énergétique. Enfin, dans le colza, un couvert semi-permanent (en plus de la lentille servant de plante compagne gélive) est installé pour deux à trois ans. La luzerne a d'abord été choisie pour sa robustesse face aux stress hydriques et thermiques, avec un résultat positif sur la couverture du sol et le contrôle des levées d'adventices. Mais la difficulté à la détruire et à gérer les repousses dans les cultures de printemps a conduit à semer du trèfle violet à partir de 2017.

Dans le Berry, le semis direct, utilisé pour le colza et les céréales, remplit son objectif de limiter les levées d'adventices difficiles à contrôler en culture. Les phases de travail du sol à la dent avant les semis du pois et des cultures de printemps sécurisent l'implantation et entretiennent une structure du sol favorable. Comme dans le Lauragais, des couverts d'interculture avec légumineuses sont systématiquement implantés : les mélanges

L'ASSOCIATION POIS-BLÉ EST ABANDONNÉE EN BERRY

L'association d'un couvert de blé au pois d'hiver avait pour double objectif d'améliorer la couverture du sol afin de limiter le salissement du pois en hiver, ainsi que de limiter la pression maladie pour le pois grâce à un effet tuteur, et donc à une meilleure aération du couvert. Le blé a été choisi pour faciliter la récolte, car un décalage de maturité avait été constaté avec l'orge dans un précédent essai.

La campagne 2016 a confirmé l'intérêt de cette association pour limiter la pression maladie sur le pois : le printemps très humide a conduit à un développement important de bactériose et d'ascochytose et à une destruction quasi totale des

pois dans la région, alors que le pois associé du système innovant est resté relativement sain. En revanche, les campagnes suivantes ont montré deux points faibles majeurs de cette association. Elle dégrade la maîtrise des adventices graminées dans un contexte de forte pression, en empêchant l'utilisation des herbicides antigraminées les plus efficaces (propyzamide, notamment) pour conserver le blé jusqu'à la récolte. Surtout, elle maintient l'inoculum de piétin-échaudage du blé précédent, ce qui a conduit à une perte de 6 à 20 quintaux sur le blé suivant par rapport au blé du système témoin. Le choix a donc été fait de continuer l'essai avec du pois d'hiver seul.

BILAN COLZA : en Berry, rendement et marge sont nettement améliorés en système innovant

	Système innovant	Système témoin
Biomasse en entrée d'hiver (kg/m ²)	Colza : 1,1/ Couvert : 0,5	Colza : 0,4 / Couvert : 0,5
Traitements insecticides*	NON	OUI
Rendement (q/ha)	33	28
Marge directe (€/ha)	674	419

Tableau 1 : Résultats du colza et usage des insecticides dans les systèmes de culture innovant et témoin de la plateforme Syppre du Berry en 2018. (*) Cibles : charançon du bourgeon terminal et larves d'altise, puis charançon de la tige.

phacélie-sarrasin-fenugrec-nyger-radis (en interculture courte) et phacélie-féverole (en interculture longue) donnent de bons résultats avec une implantation en semis direct juste après récolte, si les parcelles sont propres, ou plus tard après déchaumage superficiel, si les parcelles sont sales. L'insertion du pois et de la lentille a pour objectif d'augmenter la disponibilité de l'azote dans le sol. Le colza a été positionné après la succession lentille-blé dur pour valoriser pleinement l'azote disponible. Il est associé à un couvert de légumineuses gélives (féverole, trèfle d'Alexandrie et/ou fenugrec). Avec un semis direct début août avant une pluie annoncée, le bilan est très positif : une meilleure croissance du colza à l'automne a été obtenue trois années sur quatre, d'où une moindre sensibilité aux dégâts d'insectes (et donc une réduction de l'usage des insecticides) ainsi qu'un déplaçonnement des rendements (tableau 1). En 2019, à cause du manque de pluie en été et à l'automne (seulement 7 mm après semis, puis de nouveau un temps sec jusqu'en octobre), le colza n'a pas levé dans le système témoin et le peuplement dans le système innovant a été jugé insuffisant, aussi le colza a-t-il finalement été retourné.

« **Après trois ans d'expérimentation,** l'amélioration de la fertilité des sols est visible, mais l'objectif d'arrêter l'usage du glyphosate pourrait limiter cette progression. »

Un bilan contrasté pour la maîtrise des adventices

Dans le Berry, l'allongement conséquent de la rotation vise principalement à améliorer le contrôle des adventices, avec notamment l'insertion de deux cultures d'été successives : du maïs puis du tournesol pour le contrôle du vulpin. Dans ce contexte de sol séchant, le rendement objectif du maïs est faible (50 q/ha) et la rentabilité de son insertion est donc attendue à l'échelle de la rotation par son bénéfice agronomique à moyen terme.

Après trois ans, la maîtrise des adventices est globalement améliorée par rapport au système témoin. Toutefois, on constate un contraste fort entre deux séquences de la rotation. La maîtrise est nettement améliorée sur la succession lentille-blé dur-colza-mais-tournesol-blé. L'usage de glyphosate et le

recours au binage ont permis de se passer d'herbicides en culture dans le maïs en 2017 et en tournesol en 2017 et 2018. La maîtrise des adventices est

également très bonne dans le blé suivant le tournesol et n'a nécessité qu'une application d'herbicide en automne en 2017 et 2018, contribuant à un gain de marge directe d'environ 200 €/ha par rapport au blé du système témoin.

En revanche, la maîtrise des adventices, et du vulpin en particulier, se dégrade avec la succession de quatre cultures d'hiver : pois/blé associé (précédent blé de tournesol)-blé-orge, notamment du fait d'un mauvais contrôle dans l'association pois/blé (*encadré*).

Dans le Lauragais, une mauvaise maîtrise des adventices a également rapidement été constatée avec la succession de quatre cultures d'hiver (blé tendre-colza-blé dur-orge), qui a compliqué la gestion du ray-grass résistant, surtout en 2018. Pour améliorer cette maîtrise tout en essayant de se passer de l'usage du glyphosate (*encadré*), une modification de la succession a été mise en place à partir de la campagne 2018-2019. Une culture de

30 à 50%

d'azote et de produits phytosanitaires en moins en 2017 et 2018, par rapport au système témoin du Berry.



Le travail du sol flexible (semis direct sur cultures d'hiver et travail plus ou moins profond sur cultures de printemps) contribue à améliorer la fertilité des sols tout en sécurisant la réussite des cultures les plus exigeantes.

pois chiche de printemps a été insérée entre le blé dur et le colza, et l'orge d'hiver après blé dur a été supprimée. Les enseignements sur ces deux plateformes vont donc dans le même sens et montrent que l'alternance régulière culture d'hiver et de printemps est indispensable, particulièrement en l'absence de labour.

Des performances globalement améliorées

Après trois années d'expérimentation les enseignements sont déjà riches. La forte diversification des rotations a un effet globalement plus positif en Berry qu'en Lauragais.

Pour le système innovant du Berry, les performances sont globalement au vert (*voir l'article « Multiperformances » de ce dossier*). L'usage des intrants (azote et produits phytosanitaires) a été réduit de 30 à 50 % par rapport au système témoin en 2017 et 2018. Le bilan économique à l'échelle de la rotation s'est avéré très positif en 2017 : la marge directe a été améliorée de 20 % par rapport au système témoin, malgré l'insertion du maïs jugé *a priori* peu adapté au milieu. Il a été moins favorable en 2018, avec une baisse de 10 % environ, du fait notamment de la sécheresse estivale qui a fortement impacté le rendement du tournesol et du maïs. Il faudra donc évaluer la pertinence économique (rentabilité moyenne et robustesse entre années) du système innovant à plus long terme, qui intégrera l'effet de l'arrêt de l'usage du glyphosate.

Pour le Lauragais, les résultats des deux premières années sont mitigés. Les apports d'azote sont légèrement réduits (-8 % en moyenne sur 2017 et 2018) mais les IFT ont augmenté, notamment du fait de l'insertion de cultures (pois et colza) plus



L'insertion de légumineuses dans la rotation (cultures principales, couverts d'interculture et associés) permet de réduire significativement les apports d'azote à l'échelle de la rotation, et donc les émissions de gaz à effet de serre.

gourmandes en intrants que le couple tournesol-blé dur et de cultures intermédiaires à valorisation énergétique. La performance économique du système innovant a été pénalisée en 2018 en partie par les difficultés de maîtrise des repousses de luzerne ayant affecté la croissance du sorgho et du pois. Les changements importants du système innovant (dans la rotation notamment) apportés à partir de la campagne 2018-2019 devraient améliorer ces performances.

La conduite de ces deux systèmes sans glyphosate reste incertaine, surtout en Lauragais où l'érosion est un problème majeur. Plus globalement, la complexité de mise en œuvre de systèmes innovants aussi diversifiés (cultures, couverts, travail du sol, observations, etc.) pose la question de la faisabilité technique d'un déploiement à l'échelle d'une exploitation.

Stéphane Cadoux - s.cadoux@terresinovia.fr

Gilles Sauzet, Matthieu Abella

TERRES INOVIA

Jean-Luc Verdier - jl.verdier@arvalis.fr

Édouard Barranger

ARVALIS - Institut du végétal

COMMENT CONCILIER RÉDUCTION DU TRAVAIL DU SOL ET FIN DU GLYPHOSATE ?

L'objectif « zéro glyphosate », intégré à partir de la campagne 2018-2019, représente un défi pour les systèmes innovants du Lauragais et du Berry qui s'appuient sur un travail réduit du sol incluant le semis direct.

Dans le système innovant du Berry, le glyphosate a été remplacé par un à deux passages supplémentaires de travail du sol à la dent sur les cultures de printemps. La maîtrise des graminées a été assez mauvaise, particulièrement pour les céréales d'hiver, excepté le blé de tournesol. Le report de la date de semis à la période 30 octobre-9 novembre et le semis en direct n'ont pas suffi à esquiver les levées de vulpins, qui ont été tardives (fin novembre) du fait de la sécheresse automnale. Seul le positionnement du blé après deux cultures d'été a permis un bon contrôle des graminées sans glyphosate en 2019.

Dans le Lauragais, l'objectif est beaucoup plus difficile à atteindre en raison de la difficulté à travailler les sols argileux en sortie d'hiver (pour les cultures de printemps), et plus globalement de l'antagonisme direct entre travail réduit du sol pour limiter l'érosion et absence de recours au glyphosate. Plusieurs pistes vont être testées pour tenter de trouver un compromis acceptable : recours à une charrue déchaumeuse avant pois chiche et tournesol, utilisation d'un outil scalpeur et semis combiné en remplacement du semis direct. Et pour les couverts en interculture longue, systématisation de deux couverts en relais, avec travail du sol entre les deux pour limiter le risque d'avoir des graminées trop développées avant le semis des cultures de printemps.

CULTURES INDUSTRIELLES

RÉDUIRE L'USAGE DES INTRANTS en maintenant les marges

Les plateformes Syppre picarde et champenoise s'inscrivent dans un territoire où les cultures industrielles occupent une place importante. Elles partagent des enjeux communs : expérimenter des systèmes innovants maintenant la productivité et la rentabilité des cultures tout en diminuant l'IFT et l'usage de fertilisants minéraux.



Dans le système innovant expérimenté sur la plateforme picarde, l'azote est bien valorisé par le colza associé positionné après un pois de conserve.

En savoir plus

Une synthèse des enseignements positifs et négatifs après trois ans d'expérimentation de ces systèmes innovants est disponible sur <http://arvalis.info/106>

Les contextes pédoclimatiques de la Champagne et de la Picardie sont bien différenciés : sols de craie dominant pour la première et limons profonds pour la seconde. On y cultive la betterave dans les deux cas, ainsi que la pomme de terre et les légumes de conserve pour le Santerre. Ces systèmes à haute valeur ajoutée doivent répondre à des exigences de quantité et de qualité importantes, qui imposent généralement de hauts niveaux d'intrants. La faible capacité de minéralisation des sols crayeux renforce cet effet, amenant la plateforme champenoise à viser un objectif spécifique de baisse de 50 % de l'utilisation d'intrants minéraux azoté.

Dans les deux situations, les sols sont sensibles à l'encroûtement et à la battance. Les limons picards sont, de plus, sensibles, aux tassements sous l'effet des récoltes souvent tardives avec des charges lourdes. Ces deux plateformes ont donc décidé de renforcer par rapport aux systèmes témoins les objectifs liés à la fertilité du sol, afin d'augmenter la minéralisation de l'azote et la stabilité structurale.

Des stratégies faisant appel aux couverts et aux techniques culturales simplifiées

Les couverts d'interculture, aptes à piéger et restituer l'azote et à apporter de la matière organique au sol, sont au cœur des systèmes innovants expérimentés (figure 1). L'insertion de légumineuses - en cultures principales, associées et intermédiaires - permet d'introduire de l'azote symbiotique dans les systèmes. La voie d'une réduction du travail du sol a été prise, avec des labours moins fréquents en Champagne et du non labour en Picardie. Les deux plateformes ont donc inscrit au cœur de leurs systèmes des techniques culturales simplifiées, mais il fallait trouver les stratégies adaptées pour obtenir une implantation satisfaisante des cultures principales. Pour les cultures exigeantes vis-à-vis de l'enracinement (betterave notamment), le strip-till a sécurisé la qualité de l'implantation.

Le strip-till s'est avéré un outil central dans les deux systèmes innovants déployés. Il a été mobilisé pour la betterave et le colza sur les deux plateformes, pour le

tournesol en Champagne, et pour le maïs grain et la féverole en Picardie. Pour les cultures de printemps en limons argileux picards, un premier passage de strip-till est réalisé à l'automne avec la dent de travail, puis un second est réalisé juste avant le semis, sans la dent, afin de constituer le lit de semence.

En Champagne, sur sol de craie, un seul passage de strip-till est réalisé, combiné au semoir. Un bon ressuyage est nécessaire avant l'intervention, amenant parfois à semer deux

ou trois jours après un semis conventionnel. À cause d'un outil mal adapté, les premiers résultats obtenus en Picardie ont été décevants sur betterave ; son remplacement par l'outil de la marque Duro (utilisé sur la plateforme champenoise) a amélioré significativement la qualité d'implantation. Son utilisation s'inscrit dans une stratégie globale de réduction de l'IFT avec, pour la betterave notamment, un salissement dans l'inter-rang limité par les résidus du précédent et des traitements localisés sur le rang. Sur les autres cultures, les populations obtenues après à un travail du sol au strip-till atteignent les objectifs fixés.

Sur la plateforme picarde, les céréales seront implantées en semis direct dès que la stabilité structurale du sol se sera améliorée. Pour le moment, le sol a toujours été travaillé pour fragmenter les premiers centimètres de sol, tassés suite aux récoltes de betterave et de pomme de terre, ou pour contrôler les adventices encore présentes à la récolte du précédent. Le blé de betterave a même dû être labouré en 2017-18 pour niveler et fragmenter le sol après une récolte en conditions humides. Le semis direct est, par contre, utilisé pour des implantations de couverts. Outre l'amélioration de la fertilité, ce choix de

simplification du travail du sol vise à réduire la consommation de carburant sur les plateformes et à diminuer la charge de travail associée au labour dans des systèmes déjà complexes.

Même si la pratique en soi du semis direct n'augmente pas la teneur globale en matière organique du sol, les stratégies associées de restitution des

résidus, d'optimisation et de restitution des couverts ainsi que d'apport de matières organiques y contribuent.

Comme les résultats ne se mesurent qu'à long terme, des simulations de l'évolution des stocks de matière organique dans les systèmes innovants et témoins ont été faites avec l'outil Simeos-AMG dans le cadre du projet SOLÉBIOM. Sur les deux plateformes, le système innovant devrait aboutir à un gain d'environ 1 tonne de carbone par hectare et par an par rapport au témoin.

Une dépendance réduite vis-à-vis des engrais minéraux

Un des bénéfices attendus de l'amélioration de la fertilité du sol est de réduire l'utilisation d'azote minéral sans pénaliser la nutrition des cultures. Les deux plateformes ont mis en œuvre des stratégies qui insèrent des légumineuses en culture principale et en couvert afin d'introduire de l'azote symbiotique. Elles optimisent en outre les successions de cultures et de couverts d'interculture afin d'éviter les pertes et de restituer de l'azote aux cultures suivantes.

Si des ajustements techniques restent encore à faire, les résultats sont déjà encourageants (voir l'article « Multi-performance » suivant). Des réductions notables sont observées sur l'utilisation d'azote minéral et sur les émissions de gaz à effet de serre, proches, si ce

« En Picardie comme en Champagne, les intrants azotés ont été fortement réduits. »

-62% d'IFT

en moyenne sur deux ans avec le système innovant picard par rapport au système témoin.

DES DÉGÂTS D'OISEAUX DIFFICILES À GÉRER SUR LES PLATEFORMES EXPÉRIMENTALES



Les dégâts d'oiseaux sur tournesol sont évités quand ce dernier est semé au strip-still sous couvert d'orge, elle-même semée quatre semaines plus tôt et détruite au stade « deux feuilles » de la culture.

Les dispositifs expérimentaux champenois et picards présentent des cultures soumises aux risques de dégâts d'oiseaux que peuvent connaître les agriculteurs. Cependant, le rapprochement sur une même parcelle de ces différentes cultures offre une source constante de nourriture qui entraîne une très forte pression.

Sur la plateforme champenoise, une solution a été mise en œuvre pour éviter les dégâts de levée sur tournesol. Ce dernier est semé dans de l'orge de printemps, détruite chimiquement une fois le tournesol au stade « deux feuilles ». Cette technique a fait ses preuves sur les deux dernières campagnes, avec des attaques d'oiseaux moindres et des populations obtenues tout à fait satisfaisantes.

SYSTÈMES INNOVANTS : TCS et légumineuses au cœur des systèmes

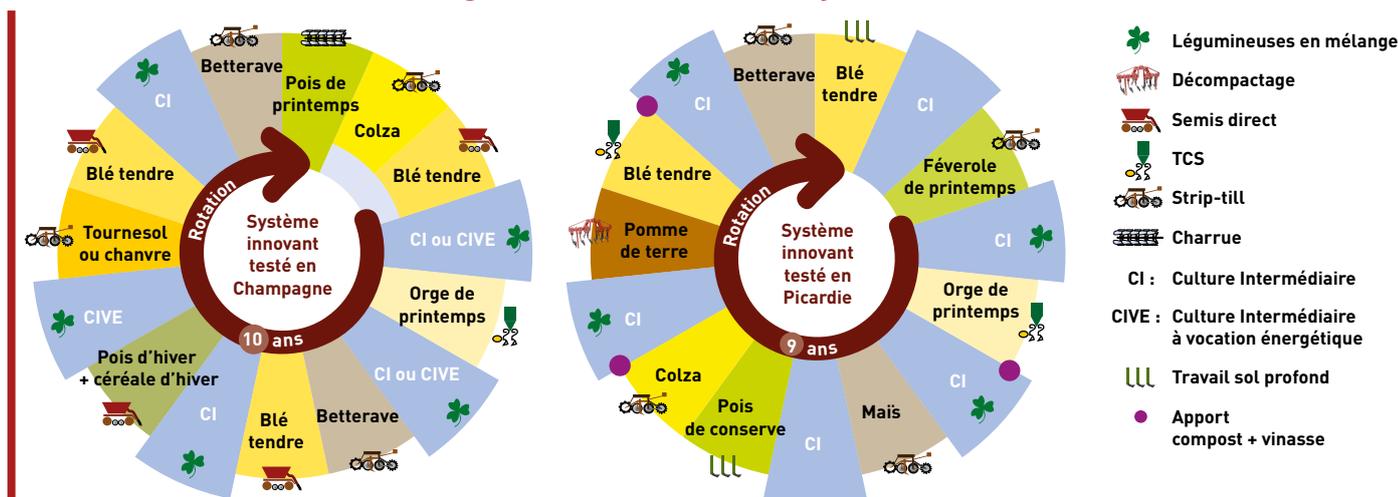


Figure 1 : Rotations expérimentées sur les plateformes Syppre de Champagne (à gauche) et de Picardie (à droite).
TCS : techniques culturales simplifiées.

n'est au-delà des objectifs fixés. Sur la plateforme champenoise, toutefois, l'objectif très ambitieux d'une réduction de 50 % d'azote minéral par rapport au système témoin semble difficile à tenir tant que l'apport de produits résiduels organiques sera empêché par des contraintes techniques.

Des légumineuses en culture principale et en couvert

L'intégration de certaines légumineuses en culture principale a posé des problèmes de conduite et/ou de productivité, tandis que d'autres ont trouvé une place intéressante dans des successions bien adaptées. Ainsi, en Picardie, la féverole n'a pas donné de résultats satisfaisants. En 2017-18, après deux semis détruits par des attaques d'oiseaux (encadré), du sarrasin a été implanté à la place (rendement obtenu : 24 q/ha). La féverole est désormais remplacée par un pois d'hiver, mais l'idée d'implanter un sarrasin en dérobée est maintenue. En Champagne, une association pois d'hiver-céréale d'hiver était initialement présente. Mais ce site a un historique de salissement conséquent, aussi la contrainte du faible nombre d'herbicides réglementés sur les deux cultures a conduit à remplacer cette association par un pois d'hiver pur. Cependant, avec deux pois présents dans une rotation de dix ans, la rentabilité du système pose question.

Une autre possibilité d'intégrer des légumineuses dans l'assolement est l'association à une culture principale. Il était initialement prévu, en Champagne, d'associer du trèfle au colza et de le maintenir dans le blé suivant. Des difficultés ont été rencontrées, notamment en raison d'une date de semis du colza trop tardive (associée au semis de trèfle) et de la suspicion de traces de sulfonyles qui auraient entravé le développement du trèfle. Pour le moment, le trèfle a été remplacé par une association féverole-lentille, détruite en hiver par le gel. Cependant, l'association

colza-trèfle reste envisagée, à condition de semer le colza plus précocement et si aucune sulfonyle n'a été employée auparavant.

L'insertion de légumineuses en couvert d'interculture est un levier important, mobilisé avec une certaine réussite quand les semis sont réalisés suffisamment tôt. Les deux plateformes ont orienté leurs choix en fonction des objectifs des intercultures considérées (tableau 1), avec différentes stratégies de valorisation : une restitution totale pour la Picardie, et une valorisation énergétique partielle pour la Champagne. Pour cette dernière, un frein important à la production de biomasse est l'impossibilité d'apporter des



-26%
d'apports minéraux azotés

en moyenne sur deux ans avec les systèmes innovants champenois et picard par rapport aux systèmes témoins.

vinasses initialement prévues avant betterave, du fait de contraintes de matériel. Si les valeurs de production de biomasse affichées en 2017 sont bonnes dans l'absolu, c'est parce que le contexte a été favorable au développement des couverts, mais elles restent en moyenne insuffisantes pour une valorisation énergétique. La stratégie a donc été trop « timide » vis-à-vis de la valorisation des couverts en CIVE. En outre, sur les deux plateformes, on suspecte que le programme de désherbage de la céréale précédente, appliquant des sulfonyles au printemps, a pu défavoriser le

COUVERTS D'INTERCULTURE : des objectifs variés parfois difficile à atteindre

	Interculture	Objectif visé	Couvert choisi	Conduite	Résultats obtenus, Perspectives
CHAMPAGNE	Blé tendre- Betterave et Pois d'hiver-Tournesol	Exporter en méthanisation	Avoine + Vesce + Trèfle	Semis début août après un déchaumage Destruction à la fin de l'automne	Biomasse perfectible.
	Blé tendre-Orge de printemps	Restituer l'azote à la culture suivante	Phacélie + Vesce		Objectif atteint
	Blé-Pois d'hiver	Valoriser une interculture courte	Moutarde + Vesce		Couvert peu déployé. Opportunité souvent prise de déchaumer pour gérer les adventices
	Orge de printemps- Betterave	Concurrencer les repousses d'orge	Moutarde		Problème quand le sec empêche la relevée des repousses et donc leur destruction avant l'implantation du couvert, mais meilleur compromis trouvé à ce jour.
PICARDIE	Blé-Betterave	Valoriser les PRO apportés en interculture	Moutarde + Trèfle + Radis	Enfouissement rapide des PRO, puis semis du couvert	Bon développement du couvert Suspicion d'impact de résidus de sulfonylurées
	Orge de printemps -Maïs grain		Avoine + Vesce +Trèfle puis Moutarde + Phacélie + Trèfle A + Tournesol + Féverole		Couvert en difficulté face aux repousses d'orge Le remplacement de l'orge par du blé facilitera le développement du couvert
	Blé-Féverole puis Blé- Pois d'hiver	Maximiser la productivité du couvert sans PRO	Phacélie + Trèfle A + Vesce pourpre	Semis direct derrière moisson	Les adventices présentes dans le blé ont souvent obligé à un déchaumage Développement insatisfaisant l'année d'une conduite sans déchaumage
	Colza-Pomme de terre	Maximiser la productivité du couvert sans PRO Assurer une bonne préparation de sol pour la pomme de terre	Couvert gélif (à définir)	Implantation du couvert après le pré-buttagage en août Destruction du couvert par le gel	La campagne 2019-20 constituera le premier test
	Féverole-Orge de printemps	Maximiser la productivité du couvert sans PRO	Moutarde d'Abyssinie + Trèfle + Vesce	Implantation précoce du couvert après déchaumage	Bon développement du couvert si semé assez précocement
	Maïs-Pois de conserve	Couvert abandonné pour le moment (difficultés à développer un couvert derrière un maïs)			

Tableau 1 : Stratégies suivies pour les couverts d'interculture en Champagne et Picardie. Trèfle A : trèfle d'Alexandrie.



En Picardie, la stratégie d'interculture est à affiner pour éviter l'effet négatif du strip-till d'automne et de l'épandage de PRO sur la date de semis et la croissance du couvert.

développement du couvert implanté. Aussi, sur la plateforme champenoise, les interventions de dés-herbage ont été renforcées à l'automne pour éviter des rattrapages printaniers.

Si la réussite des couverts permet de limiter les pertes d'azote et d'en assurer une bonne valorisation, des successions culturales bien choisies peuvent aussi jouer ce rôle. Le pois de printemps positionné en Champagne présente un potentiel de production considéré comme suffisant, et la bonne valorisation de l'azote par le colza le succédant est intéressante. De même, en Picardie, le positionnement du colza derrière un pois de conserve a montré sa pertinence pour bien valoriser l'azote.

Le maintien de la rentabilité de référence est à confirmer

Ces deux systèmes innovants semblent bien engagés concernant leurs performances environnementales.

En revanche, l'enjeu du maintien de la rentabilité dans des régions agricoles à haute valeur ajoutée est une difficulté (voir l'article « *Multiperformance* » suivant). Il est évident qu'une analyse économique de ces systèmes doit se faire sur plusieurs années afin d'évaluer, notamment, leur résilience face aux aléas climatiques et aux conjonctures économiques. Cependant, les gros écarts constatés doivent, dès à présent, être traités afin de ne pas s'engager dans une voie non viable.

En Champagne, les faibles performances économiques du système innovant posent question. En particulier, le positionnement de deux pois dans l'assolement (un de printemps et un d'hiver) met en péril la rentabilité du système innovant. Une réflexion est actuellement menée pour remplacer le pois d'hiver par une autre culture.

En Picardie, le système innovant présente des performances bien en-deçà du système témoin.

Toutefois, cet écart s'explique en grande partie par le retour moins fréquent dans l'assolement de la pomme de terre de consommation, beaucoup plus rentable que les autres cultures. À partir de 2019, la pomme de terre de consommation sera remplacée par une pomme de terre féculée, plus représentative de ce qui est pratiqué en ferme en situation non irriguée. Les premières évaluations semblent montrer que ce simple changement, ainsi que le choix d'un pois d'hiver suivi d'un blé plutôt qu'une féverole suivie d'une orge de printemps, permet *a priori* de retrouver une rentabilité du système innovant proche de celle du témoin.

Paul Tauvel - p.tauvel@itbfr.org
 Pascal Amette
 ITB
 Nicolas Latraye
 TERRES INOVIA

ZOOM

DES PROBLÉMATIQUES COMMUNES dans la gestion des adventices

Étant donné l'historique de salissement des parcelles et la réduction du travail du sol (dont l'arrêt ou la diminution du labour), des difficultés de contrôle de la flore adventice surgissent sur les deux plateformes.

L'objectif d'arrêter l'usage du glyphosate pose quelques difficultés pour les systèmes innovants. Pour y faire face, les stratégies de ces systèmes ont été modifiées (tableau 2), tandis que dans les systèmes témoins, le recours au labour permet de gérer convenablement la plupart des situations.

Des changements de flore adventice ont été observés, notamment une présence plus importante de vivaces (chardon, chiendent) sur les deux plateformes devenant un véritable problème. En Picardie, la pression des dicotylédones de printemps, plus conséquente que prévue, révèle deux faiblesses :

la succession initiale de quatre cultures de printemps, et le non labour associé à l'arrêt d'utilisation du glyphosate. En Champagne, l'objectif d'une réduction de 50 % de l'IFT est loin d'être atteint. Des solutions techniques vont devenir opérationnelles dès les prochaines campagnes (rampes de localisation, renforcement du désherbage mécanique). Le chanvre a remplacé le tournesol dans lequel la gestion des adventices posait problème, avec un impact sur les cultures suivantes. Ces prochaines années diront si le système est capable d'aller vers une baisse significative de l'usage d'herbicides.

DÉSHERBAGE : une gestion modifiée des intercultures

	Interculture	Difficultés rencontrées	Solution mise en œuvre ou prévue
Champagne	Pois de printemps-Colza	Repousses de pois très nombreuses	Implantation précoce du colza, pour une meilleure concurrence. Si le colza est bien vigoureux, les repousses de pois sont laissées et détruites par le gel hivernal
	Orge de printemps-Betterave	Couvert bien souvent très concurrencé par les repousses d'orge	Couvert semé plus tardivement, début septembre, le temps de gérer les repousses d'orge. Implantation de moutarde, à fort pouvoir couvrant
Picardie	Autres intercultures	Salissement en sortie d'hiver	Multiplication des interventions de travail du sol (déchaumages)

Tableau 2 : Adaptation des stratégies sur les périodes d'interculture vis-à-vis de l'arrêt du glyphosate.

MULTIPERFORMANCE DES SYSTÈMES INNOVANTS

DES OBJECTIFS

partiellement remplis après deux ans de transition

Après deux campagnes, le bilan environnemental des systèmes innovants est prometteur. La productivité et la rentabilité doivent néanmoins être améliorées. L'analyse des premiers résultats est riche d'enseignements et révèle déjà quelques réussites.

Dans un dispositif expérimental Syppre (ici en Béarn), les systèmes innovants sont expérimentés en petites parcelles. Les résultats sont ensuite extrapolés à l'échelle d'une exploitation agricole.

En savoir plus

L'effet des systèmes innovants sur l'évolution des stocks de matière organique est discuté sur <http://arvals.info/1o9>

Les travaux menés dans l'Action Syppre sont ambitieux. Ils doivent améliorer les systèmes de culture actuels particulièrement sur deux points, à savoir réduire de 20 % la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre (GES) et réduire de moitié l'usage des solutions chimiques de protection des plantes, tout en maintenant une productivité et une rentabilité au moins équivalentes.

Les cinq plateformes Syppre expérimentent différents systèmes innovants devant relever ce défi (tableau 1). Dans quelle mesure le changement de système permet-il aux exploitations de grandes cultures d'améliorer leur durabilité, et à quelles conditions ? C'est à ces questions que tente de répondre l'analyse multicritère des résultats des premières années d'expérimentations (tableau 2). Elle repose sur huit indicateurs, techniques, économiques et environnementaux (encadré).

Améliorer les itinéraires techniques pour maintenir la productivité

Dans les cinq situations, la productivité à l'hectare des systèmes innovants est inférieure à celle des systèmes témoins. Cette baisse est principalement marquée en Picardie, dans le Berry et dans

le système I1 du Béarn où l'indicateur de production d'énergie, qui convertit les rendements en unité énergétique, baisse de l'ordre 20 % en moyenne sur les deux ans. Le chiffre d'affaires suit la même tendance. En 2017 et 2018, les prix de vente des cultures nouvelles ne l'ont pas amélioré significativement.

La productivité des systèmes innovants dépend en grande partie du potentiel de rendement et de la nature des cultures de diversification, couplé à l'importance qu'elles prennent dans l'assolement, au côté des cultures historiques. Ainsi, dans le système de référence en Picardie, la betterave à sucre pèse pour plus de 50 % dans la productivité en unité énergétique à l'hectare, et la pomme de terre de consommation représente près de 60 % du chiffre d'affaires généré. La baisse de productivité du système innovant s'explique par une baisse de 8 % du rendement de la betterave et de 16 % pour la pomme de terre, liée en partie à de nouvelles techniques d'implantation qu'il faut apprendre à maîtriser, couplée à une diminution de la part de ces cultures dans le nouvel assolement.

La réussite des nouvelles cultures pèse également : les résultats intègrent les ressemis et l'absence de récolte - difficultés observées au moins une fois en deux ans pour chaque plateforme.

ACTION SYPPRE : six systèmes innovants comparés aux systèmes de référence locaux

Système témoin/ Système innovant	Picardie	Champagne	Berry	Lauragais	Béarn – T3 Rotation 2 ans + Cive	Béarn – I1 Rotation 3 ans + Cive + dérobée
Durée de la rotation (en années)	6 / 9	5 / 10	3 / 9	2 / 8	1 / 2	1 / 3
Nb de cultures d'hiver	3 / 3	3 / 6	3 / 6	1 / 6	0 / 0	0 / 2
Nb de légumineuses récoltées	1 / 2	0 / 2	0 / 2	0 / 1	0 / 1	0 / 1
Présence de CIVE ou dérobée	Non / Oui	Non / Non	Non / Oui	Non / Oui	Non / Oui	Non / Oui
Apport de PRO	Non / Oui	Non / Non	Non / Non	Non / Non	Non / Non	Non / Non
Travail du sol	Labour / TCS	Labour / TCS	TCS / TCS	Labour / TCS	Labour / Labour	Labour / Labour+TCS
Nb de solutions de biocontrôle	1 / 0	0 / 0	1 / 1	1 / 1	2 / 2	2 / 2
Nb de cultures désher- bées mécaniquement	1 / 4	2 / 3	0 / 2	1 / 2	1 / 2	1 / 2

Tableau 1 : Principales caractéristiques techniques des systèmes de culture expérimentés (témoin / innovant).
CIVE : culture Intermédiaire à valorisation énergétique. PRO : produit résiduaire organique. TCS : techniques culturales simplifiées.

Des progrès sont possibles pour améliorer la productivité des systèmes innovants diversifiés, et les expérimentations Syppre comptent déjà quelques réussites. C'est le cas dans le Berry, avec la culture de lentille : les bons rendements obtenus (22 q/ha en moyenne chaque année) couplés à un prix de vente compétitif ont contribué à préserver le chiffre d'affaires global du système innovant. Dans le Béarn, en 2017, la production d'énergie de T3 a dépassé de 18 % celle du système témoin grâce à un soja au potentiel et un rendement de CIVE supérieur à 8 t/ha. Mais en 2018, la mauvaise récolte de CIVE a fait chuter la productivité du système T3. Sa bonne

productivité dépend donc de sa capacité à maintenir une bonne production de CIVE (avoine d'hiver sur cette plateforme).

Les systèmes valorisent mieux les ressources en énergie

Selon les indicateurs ciblés dans l'Action Syppre, l'usage des intrants et les performances environnementales sont améliorées dans les systèmes innovants, et cela pour chacune des deux campagnes. L'efficacité énergétique est le rapport entre la quantité d'énergie contenue dans les produits récoltés et la quantité d'énergie consommée directement

HUIT INDICATEURS DE PERFORMANCE

La plupart des indicateurs ont été calculés à l'aide du logiciel SYSTERRE pour caractériser les performances des systèmes expérimentés. Le stock en matière organique a été estimé avec Simeos-AMG.

Apport d'azote minéral (kg N total/ha) : quantité d'azote minéral apportée. N'inclut pas l'azote sous forme organique.

Chiffre d'affaires (€/ha) : valeur dégagée par la vente des produits récoltés, hors aides. Obtenu à partir des rendements par culture et des prix de vente observés.

Efficacité énergétique (MJ/MJ) : énergie produite, rapportée à l'unité d'énergie consommée directement et indirectement, pour chaque opération culturale et intrant employé.

Émissions de GES (t_{eq}CO₂/ha) : estimation des quantités de gaz à effet de serre émises de façon directe (nitrification, dénitrification, combustion de carburant) et indirecte (production des intrants et des agroéquipements), hors variations de stock de carbone du sol.

Indice de fréquence de traitement (IFT produit commercial) : il correspond au nombre de doses de référence de produit phytosanitaire appliquées sur une surface. N'inclut pas les traitements de semence, ni les produits de biocontrôle.

Marge directe (€/ha) : chiffre d'affaires + aides, desquels sont déduites les charges en intrants, les charges de mécanisation et de main-d'œuvre salariée. Ne sont pas comptées les charges fixes d'exploitation, ni les charges liées à la main-d'œuvre familiale.

Production d'énergie (MJ/ha) : quantité d'énergie contenue dans les produits récoltés, obtenue à partir du rendement observé et de la valeur énergétique estimée pour chaque production.

Stocks de matière organique (%) : estimation avec le modèle Simeos-AMG de la variation, après 30 ans, du stock de matière organique sur les 30 premiers cm.

PERFORMANCES MOYENNES À DEUX ANS : la rentabilité n'est pas encore atteinte

		Picardie (160 ha, 1,6 UTH)	Champagne (180 ha, 1,5 UTH)	Berry 150 ha, 1 UTH)	Lauragais (170 ha, 1 UTH)	Béarn	
						T3 (63 ha, 1 UTH)	I1 (63 ha, 1 UTH)
Productivité	Chiffre d'affaires	-29 %***	-9 %**	-7 %*	-14 % ^{NA}	+1 % ^{NS}	-15 %**
	Production d'énergie	-23 %***	-7 %**	-20 %***	-4 % ^{NS}	-7 %*	-18 %**
	Efficiace énergétique	-3 % ^{NS}	+9 %*	+5 % ^{NS}	-7 % ^{NS}	+9 %*	-13 %**
Rentabilité	Marge directe avec aides	-37 %***	-15 %**	+4 % ^{NS}	-28 % ^{NA}	0 % ^{NS}	-32 %*
Technique et environnemental	Apport azote minéral	-26 %***	-26 %***	-35%***	-8%***	-63% ^{NA}	-5 %***
	IFT Total	-62 %***	-5 %**	-39%***	+34 % ^{NA}	-6 %***	+60 %***
	Émissions de GES	-17 %***	-20 %***	-28%***	-7 %***	-33 %***	0 % ^{NS}
	Stock de matière organique du sol à 30 ans	+0,04 % ^{NA}	-0,01 % ^{NA}	-0,14 % ^{NA}	+0,15 % ^{NA}	+0,08 % ^{NA}	+0,07 % ^{NA}

Tableau 2 : Résultat des indicateurs de performances des systèmes innovants. Les résultats sont exprimés en pourcentages des résultats des systèmes de référence, à partir des valeurs moyennes observées en 2016-2017 et 2017-2018. Significativité des résultats : * peu ; ** : moyennement ; *** : très ; ou NS : non significatif. NA : données ne pouvant être traitées statistiquement. Le jeu de couleur traduit des performances plus ou moins favorables / plus ou moins défavorables du système innovant en comparaison avec le système de référence.

et indirectement pour conduire les cultures. Cette efficacité est équivalente ou améliorée dans cinq des six systèmes innovants. En Champagne, cet indicateur passe de 10,6 à 11,5 MJ produits par MJ consommé. Il est aussi meilleur dans les systèmes innovants du Berry et du T3 en Béarn. Les choix de rotation pour le système I1 en Béarn (mais en rotation avec deux céréales d'hiver, et implantation de soja en dérobé et de CIVE) génèrent une perte d'efficacité énergétique : les quantités d'énergie

consommées pour produire les cultures sont équivalentes au système témoin, mais la production d'énergie est inférieure de 18 %.

Intrants et environnement : un cahier des charges plutôt bien respecté

Dans ces systèmes de grandes cultures sans irrigation, l'azote minéral est le principal poste de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre, indirects (fabrication des engrais) et directs (épandage, pour les GES). Les indicateurs « Émissions de GES » et « Énergie consommée » suivent donc la tendance baissière de l'utilisation d'azote. Les quantités d'azote minéral appliquées à l'hectare sont diminuées de plus de 20 % en moyenne pour l'ensemble des situations étudiées, atteignant voire dépassant les objectifs visés en Champagne et sur le système T3 du Béarn, sans que la nutrition des cultures soit pénalisée.

Pour tous les systèmes innovants, le facteur principal de réduction des quantités d'azote est l'introduction de cultures peu ou pas exigeantes en azote en alternance avec les cultures de référence. Par exemple, du tournesol a été intégré dans les systèmes innovants de Champagne et du Berry, et du sorgho dans le Lauragais. Toutes les plateformes incluent davantage de légumineuses : une à deux espèces en culture principale, soit en culture pure soit en association avec généralement des abattements de fertilisation permis sur les cultures



Les cultures de diversification, telle la féverole en Picardie, ont souvent un intérêt multiple (réduire l'azote ou les GES, produire de l'énergie...) mais leur rentabilité s'étudie au cas par cas.

© R. Lagère - ARVALIS-Institut du végétal



L'apport de PRO sur les cultures du système innovant de Picardie réduit les émissions directes et indirectes de GES par rapport à un apport d'azote minéral.

suivantes. En Picardie, près d'un tiers des besoins en azote ont été couverts par des produits résiduels organiques (PRO) sur pomme de terre, betterave et maïs, ce qui a contribué à une réduction supplémentaire des apports minéraux dans le système innovant.

Concernant le recours aux produits phytosanitaires, les performances des systèmes innovants sont plus disparates. Sur les plateformes Picardie et Berry, les IFT des systèmes innovants sont fortement réduits (respectivement -62 % et -39 % de l'IFT régional de référence) dès les deux premières années. Ceci s'explique, d'une part, par l'introduction de nouvelles cultures pour lesquelles les IFT

sont plus faibles, mais également par la réduction des interventions phytosanitaires sur les cultures « historiques » grâce à la mobilisation d'autres leviers. Ainsi, le recours aux insecticides sur colza et aux fongicides sur céréales a baissé.

À l'inverse, le système innovant du Lauragais et le système I1 du Béarn ont un IFT supérieur à l'IFT régional. Pour des systèmes basés historiquement sur des cultures peu consommatrices en intrants (tournesol, maïs), la diversification conduit à des augmentations d'IFT en comparaison du système témoin - en tout cas, à court terme. Dans le Lauragais, la stratégie de non travail du sol couplée à l'introduction de couverts en interculture, mise en place pour réduire l'érosion dans ces sols de coteaux, entraîne une difficulté supplémentaire dans la gestion des adventices et ne permet pas de réduire l'usage des herbicides.

Le rendement reste le premier facteur de rentabilité des systèmes innovants

La rentabilité économique est évaluée par la marge directe à l'hectare. Cet indicateur est obtenu à partir du chiffre d'affaires duquel sont déduites les charges directes de production et auquel sont ajoutées les aides couplées et découplées.

Les règles décidant du choix des équipements des systèmes innovants ont maintenu les charges de mécanisation (amortissements techniques, entretien, fuel) au même niveau que celles du témoin. Selon les besoins, l'option la plus économique a été retenue entre l'acquisition, la location ou le recours à une entreprise. Les marges directes des systèmes innovants dépendent donc de l'équilibre entre le chiffre d'affaires et les charges en intrants (engrais, produits phytosanitaires, semences).

Dans les conditions de marché observées sur les deux campagnes, cet équilibre n'est pas assuré dans quatre situations sur six : en Picardie, dans le Lauragais et pour le système I1 du Béarn, et dans une moindre mesure en Champagne. Les charges en engrais et en produits phytosanitaires n'y baissent pas suffisamment pour compenser la perte de chiffre d'affaires. D'autre part, l'introduction de couverts en interculture, de CIVE ou de dérobée amène une augmentation des charges de semences sur quatre des cinq plateformes. Seul le système innovant de Picardie

a des charges de semences réduites, du fait d'une réduction de la sole de pomme de terre, le coût des plants étant élevé.

Avec une baisse de 17 %, le système innovant de la plateforme Berry est

celui qui réduit le plus ses charges opérationnelles par rapport au système témoin. Avec le système T3 du Béarn, ils sont les seuls à maintenir une rentabilité moyenne sur deux ans équivalente à celle du système témoin.

Après trois ans d'expérimentation, le principal facteur d'explication des performances des systèmes innovants est l'effet « mécanique » du changement de rotation, couplé à la maîtrise plus ou moins aisée de nouvelles cultures et de nouvelles techniques. Des simulations à long terme réalisées avec l'outil Simeos-AMG montrent que les systèmes innovants favoriseraient plutôt l'enrichissement des sols en matière organique ou sont neutres. La mise en place progressive de « l'effet système » et l'ajustement des leviers mobilisés et/ou une meilleure maîtrise du pilotage des cultures sont trois facteurs sur lesquels compter pour améliorer les performances de ces systèmes innovants en transition.

« **Après deux ans de transition,** le principal effet des systèmes innovants sur la multiperformance est l'effet mécanique dû à l'introduction de nouvelles cultures. »

-33%

d'émissions directes et indirectes de GES pour le système innovant T3 du Béarn (rotation de deux ans, dont une CIVE et une légumineuse récoltée).

Anne-Laure de Cordoue - al.decordoue@arvalis.fr

Clotilde Toqué - c.toque@arvalis.fr

Aurélien Tailleux

ARVALIS - Institut du végétal

Stéphane Cadoux - TERRES INOVIA

Paul Tauvel - ITB