

COMIFER – GEMAS 21 et 22 novembre 2023

Syppre : des systèmes de culture visant la multi-performance, incluant des objectifs prioritaires de réduction de la fertilisation azotée minérale et d'amélioration de la fertilité des sols. Quel bilan après 5 années d'expérimentation ?

Marie Estienne¹, Loïc Viguier¹, Eva Deschamps¹, Domitille Jamet², Paul Tauvel³, Clotilde Rouillon¹

¹ ARVALIS Institut du végétal, F-91720 Boigneville

² Terres Inovia, F-78850 Thiverval-Grignon

³ Institut Technique de la Betterave, F-75008 Paris

Correspondance : M.ESTIENNE@arvalis.fr

RESUME

L'action Syppre (ARVALIS, ITB, Terres Inovia) a pour objectif d'accompagner la transition vers des systèmes de grande culture innovants répondant à un objectif de triple performance : économique, environnementale et de productivité. Pour cela, des plateformes expérimentales sont implantées depuis 2016 dans bassins de production français spécialisés dans ces filières : les limons de Picardie, les terres de craies de Champagne, les sols argilo-calcaires superficiels du Berry, les coteaux argilo-calcaires du Lauragais et les terres humifères du Béarn. Sur chaque site, un système innovant co-conçu avec des agriculteurs et des conseillers est mis à l'épreuve du terrain, à côté d'un système témoin représentatif des systèmes pratiqués et pour lesquels les pratiques sont optimisées. Les objectifs de triple performance ainsi que les enjeux locaux sont déclinés en indicateurs dont on suit l'évolution au cours du temps : - 20% d'azote minéral apporté, taux de matière organique maintenu voire amélioré, - 20% sur les émissions de gaz à effet de serre sont par exemple les objectifs fixés aux systèmes innovants Syppre. Pour y répondre, les systèmes de culture innovants mobilisent des stratégies agroécologiques selon une approche systémique, en mobilisant des leviers tels que la diversification des cultures, l'introduction de légumineuses, la couverture du sol en interculture, le recours à des solutions alternatives aux produits de synthèse, etc ; La réduction de la dépendance aux engrais azotés de synthèse est un enjeu important et commun aux cinq situations de production, ainsi que la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) des systèmes étudiés.

C'est dans ce cadre d'objectifs ambitieux que des solutions opérationnelles sont imaginées pour diminuer la quantité d'azote minéral utilisée, à l'échelle du système de culture mais également de la culture, en cherchant des compromis entre le maintien de la production, en rendement et en qualité, la viabilité économique des systèmes de culture et la réduction des apports d'azote minéral.

Après 7 années d'essais, les quantités d'azote utilisées, ainsi que les émissions de GES qui sont fortement liées aux apports d'azote, ont bel et bien diminué sur l'ensemble des 5 plateformes. Pour autant, l'amélioration de performances environnementales se fait au détriment des performances économiques et de productivité : les systèmes innovants se sont pas à la hauteur des témoins en moyenne.

L'article détaille les leviers mobilisés pour réduire l'usage d'azote minéral, les résultats observés sur les performances des cultures et des systèmes, ainsi que des effets sur d'autres critères de performances comme le bilan carbone ou la fertilité du sol. Il ouvre des perspectives sur des solutions intéressantes à considérer dans le futur.

ABSTRACT

The project "Syppre: Building together innovative cropping systems for tomorrow" (ARVALIS, ITB, Terres Inovia) aims to support the development of innovative arable cropping systems reconciling productivity, economic profitability and environmental protection. These systems have been tested since 2017 in five

French regions specialised in arable crop production: the deep loamy soils of Picardy, the chalk soils of Champagne, the shallow clay-limestone soils of Berry, the clay-limestone hillsides of Lauragais and the humus-rich soils of Béarn. On each site, an innovative system co-designed with regional agricultural stakeholders has been tested in field conditions, and compared to a control system, which is representative of current systems observed in the region. In order to meet Syppre's three emblematic objectives and to respond to more regional issues, the innovative cropping systems mobilize agroecological levers using a systemic approach, such as crop diversification, modification of soil tillage, genetics, and the use of alternative solutions to synthetic products. Being less dependant of nitrogen fertilizer and lower GHG emission is a challenge that all the innovative system pursue. Operational solutions have been designed in this framework to lower the use of nitrogen at the system scale and at the crop scale with compromise with quality, yield and economic objectives.

After 7 years of trials, we observe a great reduction of nitrogen fertilizer use et GHG emission for the innovative system compared to the reference. But the level of economic performance decreased for almost all of them. The article details the levers used to reduce nitrogen fertilizer amount, the consequence on crop and system performances as well as the effect on carbon balance and soil fertility. It also discusses the perspectives of interesting solutions to consider in the future.

INTRODUCTION

Concilier l'ensemble des enjeux qui s'imposent à l'agriculture implique une évolution en profondeur des systèmes de culture. Pour relever ce défi, les instituts techniques des grandes cultures, ARVALIS - Institut du végétal, l'Institut Technique de la Betterave et Terres Inovia ont lancé l'action Syppre en 2014. Syppre est structuré en trois volets techniques – Observatoire, Plateformes expérimentales, Réseaux d'agriculteurs - qui sont complémentaires pour contribuer à la transition vers des systèmes multi-performants, en produisant des connaissances et références locales et en accompagnant les agriculteurs dans la transition agroécologique. L'ensemble des volets est mis en œuvre dans cinq projets régionaux dans lesquels Syppre est déployé : Picardie, Champagne, Berry, Lauragais, Béarn.

Les plateformes accueillent des expérimentations « système de culture » qui visent à mettre au point des systèmes de culture innovants conciliant rentabilité, excellence environnementale et productivité. Cette multi-performance, fixée dans le cadre national de l'action Syppre est complétée par des objectifs spécifiques liés aux problématiques identifiées régionalement. Les résultats et les expériences acquises permettent à la fois d'améliorer les connaissances agronomiques systémiques mais aussi d'identifier des stratégies prometteuses pour améliorer la performance des systèmes locaux, sources d'inspiration pour les producteurs et leurs conseillers. Le caractère opérationnel des solutions qui sont identifiées exige qu'elles soient suffisamment éprouvées, et aussi qu'elles soient acceptables par les agriculteurs et par les filières.

La préservation ou l'amélioration de la fertilité des sols est un des objectifs visés par les systèmes innovants sur les plateformes Syppre. Cela se traduit par un travail sur les composantes physiques (structure du sol), biologiques (préservation de la vie du sol) et chimiques (assurer la disponibilité en éléments nutritifs majeurs pour les cultures). Il est étroitement lié à un autre objectif de Syppre : la réduction de la dépendance des systèmes à l'azote minéral pour répondre aux enjeux environnementaux de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) mais aussi économiques : optimiser les charges de production et la robustesse des productions dans le contexte inflationniste que nous connaissons depuis 2022.

Pour répondre à ces objectifs, les systèmes de culture innovants ont été conçus pour maximiser les apports d'azote endogènes notamment grâce aux légumineuses en couvert et en culture principale.

Dans cet article nous analysons, sur la base des 7 années d'expérimentations disponibles, les stratégies et les résultats obtenus sur les plateformes en termes de quantité d'azote minéral utilisée, et de performance des stratégies innovantes de fertilisation sur la fertilité du sol et sur les autres critères de performance recherchés sur Syppre. Les questions soulevées sont les suivantes : A-t-on réussi à réduire la quantité d'azote minéral apportée ? à améliorer la fertilité des sols et à atteindre un meilleur bilan carbone dans les systèmes innovants ? À l'échelle du système ? De la culture ? Quelles combinaisons de leviers apportent satisfaction au plan agronomique ? Quels effets observe-t-on sur la multiperformance des cultures et du système ?

MATERIEL & METHODES

1. Des plateformes expérimentales pour faire émerger des solutions innovantes

Cinq plateformes expérimentales ont été mises en place dans chacune des situations de production où Syppre est décliné (www.syppre.fr). Elles comparent :

- un système témoin local dominant (Témoin ou TEM): la rotation et le travail du sol sont ceux du système de culture majoritairement pratiqué sur la zone de production. Les interventions sont optimisées localement sur la base du conseil des instituts techniques,
- et un (ou plusieurs dans le cas du Béarn) système innovant (Innovant ou INN), mobilisant plusieurs combinaisons de leviers et techniques innovantes pour atteindre les objectifs nationaux et locaux visés dans Syppre,

Les plateformes sont implantées sur des parcelles de trois à dix hectares. Pour chaque plateforme, les systèmes de culture témoins et innovants sont dupliqués 2 ou 3 fois, et chaque terme de la rotation est cultivé chaque année. Cela permet de s'affranchir de l'impact des conditions climatiques d'une année sur une culture sur les performances du système étudié (Lechenet et al., 2015). Les premiers travaux ont démarré en 2015 avec une culture d'homogénéisation sur l'ensemble du dispositif et 2016 est l'année de mise en place des précédents culturels pour les termes de rotation des différents systèmes testés. L'effet précédent étant un effet majeur à court terme, dans l'analyse des données, nous avons considéré l'année 2017 comme première année d'expérimentation. Les expérimentations sont programmées pour une durée d'au moins dix ans. Elles sont conduites avec un dimensionnement et des conditions de travail permettant l'usage de matériel agricole classique (Toqué et al., 2015).

2. Des objectifs de multiperformance

Au plan national, les enjeux de productivité, de rentabilité et d'excellence environnementale auxquels l'Action Syppre doit contribuer ont été définis à partir d'une vision prospective de l'agriculture, partagée par les trois instituts, à une échéance de 10 ans.

Ils ont été traduits en une liste de 9 objectifs - soit 9 indicateurs et valeurs à atteindre pour les systèmes innovants au regard du témoin ou de références régionales, dont la plupart sont calculés avec l'outil SYSTERRE® (Jouy et al., 2018 ; Weber et al., 2019). Nous avons choisi d'extrapoler les résultats à l'échelle d'exploitations agricoles de tailles réelles, en considérant que chaque terme de rotation est conduit sur une surface identique aux autres. Il s'agit de maintenir la rentabilité (marge semi-directe à l'hectare et EBE par UTH non salarié) et la productivité (production d'énergie brute et efficacité énergétique à l'hectare), de réduire de 20% des quantités d'azote minéral, la consommation d'énergie et les émissions de GES et de 50% des IFT par rapport à la référence régionale de 2012 et par rapport au témoin (Guillaumin *et al.*, 2007). Par ailleurs, on maintient les objectifs de rendements pour chacune des cultures de la rotation.

L'évolution du taux matière organique sur l'horizon 0-30 cm est l'indicateur retenu pour évaluer la fertilité des sols. Il a été caractérisé finement au démarrage des essais et le sera à nouveau à la fin des rotations. Pour le moment, son évolution a été approchée par simulation grâce au modèle AMG (Clivot et al., 2019, projet SOLébiom, 2015-2019). Les systèmes de culture innovants intègrent également lors de leur conception la réponse à des objectifs locaux notamment vis-à-vis de la fertilité du sol : maintien du capital sol en limitant l'érosion dans le Lauragais, maintien de la fertilité et réduction de la battance dans le Béarn ou en Picardie par exemple.

3. Protocole d'observations et indicateurs de suivis

Pour analyser les performances des systèmes vis-à-vis de ces objectifs, des mesures et observations sont mises en œuvre chaque campagne culturale. Concernant la fertilisation, ce sont notamment des mesures de biomasse des couverts et des cultures qui sont réalisées. Ces biomasses servent à estimer les absorptions et exportations en éléments fertilisants qui seront disponibles pour la plante suivante à l'aide la méthode MERCI (Constantin et al., 2023). Des mesures de reliquats azotés en post récolte et en sortie d'hiver sont réalisées sur toutes les parcelles de toutes les plateformes tous les ans pour calculer au plus juste le bilan azoté selon la méthode du bilan (Comifer, 2013).

La quantité d'azote total, dont minéral et organique, apportée est suivie annuellement.

La fertilité du sol est également suivie sur les cinq plateformes. Une caractérisation fine des différentes composantes de la fertilité a été faite avant la mise en culture en 2015/2016. Un point à mi rotation en 2020 2021 a été réalisé sur certaines parcelles. Un point final sera réalisé à la fin des rotations innovantes sur l'ensemble des parcelles pour capter l'évolution de certains indicateurs : stock de C Organique, MO, Par ailleurs, un certain nombre de tests de fertilité sont conduits selon les années sur des modalités comparables entre système témoin et innovant : slake tests, test du slip, beerkan test...

4. Les leviers mobilisés dans les systèmes innovants Syppre

On fait l'hypothèse que l'on peut réduire la quantité d'azote minéral utilisée en combinant plusieurs leviers agronomiques et techniques sans dégrader la multiperformance. Ils sont détaillés ci-après :

- L'introduction de légumineuse en culture principale, en couvert et en association, dans une proportion importante.
- L'introduction de culture de diversification, avec des besoins azotés moins élevés que les cultures historiques
- Le positionnement stratégique des cultures dans la rotation pour valoriser au mieux les reliquats azotés laissés par le précédent
- Les apports de produits résiduels organiques quand ils sont disponibles en proximité.
- Le pilotage de l'azote en cours de campagne grâce à l'OAD CHN conduite (Soenen et al., 2019 et 2020).

	Durée de la rotation (année)	Cultures différentes dans la rotation	Légumineuse en culture principale (CP)	Taux de présence en CP	Nb de CI	Légumineuse en culture intermédiaire (CI)	Légumineuse en association	Taux de présence en CI	PRO
Béarn T3	2	2	Soja	50%	2	0		0%	
Berry	9	8	Lentille Pois d'hiver	22%	5	3 (mélange)	1 (fèverole)	80%	
Lauragais	8	7	Pois d'hiver Pois chiche	29%	5	1 (fèverole)	2 (fèverole + lentille)	60%	
Picardie	9	8	Fèverole Pois de conserve/flageolet	22%	6	4 (mélange)	1 (fèverole)	83%	X
Champagne	10	6	Pois d'hiver Pois de printemps	20%	5	3 (mélange)	1 (fèverole)	80%	

Tableau 1: les légumineuses représentent entre 20 et 50% des cultures principales dans les systèmes innovants et entre 60 et 80% des espèces mobilisées en mélange dans les couverts.

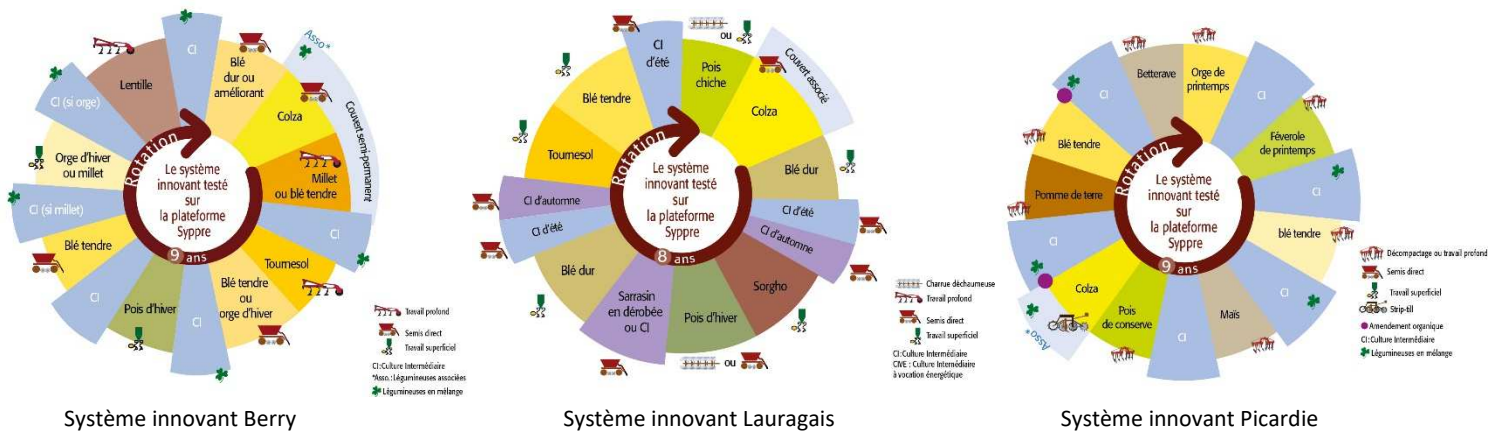


Figure 1: trois exemples de systèmes innovants testés dans Syppre intégrant des légumineuses en cultures principales et en couverts

Ces leviers concourent aussi à préserver le capital sol des parcelles des systèmes innovants. En effet, la biomasse des couverts d'interculture ainsi que les résidus de cultures (hors pailles) sont intégrées au sol pour alimenter sa faune. En plus des restitutions de biomasses, le travail du sol profond est limité autant que possible, mais maintenu pour pouvoir gérer les adventices de manière mécanique. On fait l'hypothèse que ces pratiques améliorent le fonctionnement du sol ainsi que le bilan carbone.

	Fertilisation minérale	Fertilité des sols	Bilan carbone
Introduction de légumineuses	X		
Réduction du travail du sols		X	X (si couplé à des couverts végétaux)
Couverture d'interculture	X	X	X
Apport de PRO	X	X	X
Pilotage de la fertilisation	X		X

Tableau 2: Les différents leviers mobilisés servent plusieurs objectifs poursuivis par les systèmes innovants Syppre

RESULTATS

1. Le recours à l'azote, et en particulier à l'azote minéral diminue sur l'ensemble des plateformes et atteint les objectifs de -20% d'utilisation par rapport au témoin.

L'objectif de réduire de -20% le recours à l'azote minéral à l'échelle de la rotation est atteint sur toutes les plateformes (figure2). Cet objectif a été choisi du fait des exigences de réduction des émissions de GES qui étaient de 20% et compte tenu du lien entre les deux indicateurs. La situation en Picardie est légèrement différente car le système innovant utilise des PRO : si on ne réduit pas de -20% la quantité totale d'azote utilisée, on réduit bien de 20% la quantité d'azote minéral dans ce système.

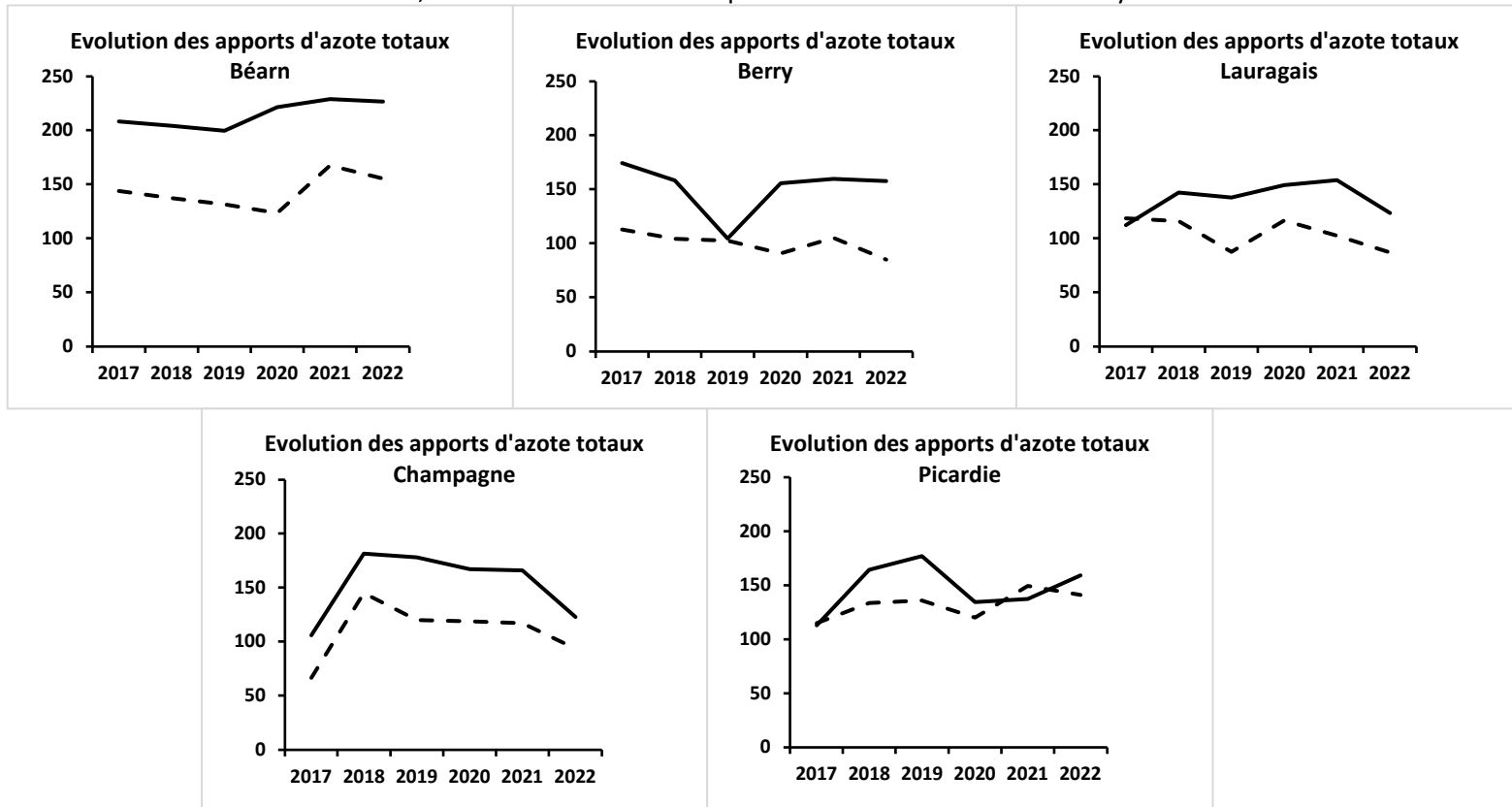


Figure 2: les évolutions des quantités totales d'azote (minéral + organique) apportées (en kg/ha) depuis le début des essais sur les 5 plateformes. Innovant en pointillé et témoin en trait plein. Seul le système innovant en Picardie mobilise des PRO d'où un écart moins important entre témoin et innovant.

Les niveaux de réduction s'expliquent par deux raisons principales :

- La dilution des cultures consommatrices d'azote et l'augmentation de la part des légumineuses à l'échelle de la rotation. Mécaniquement, l'apport d'azote minéral baisse à l'échelle du système. Il est important de préciser que les besoins en azote de chacune des cultures sont respectés.
- La diminution plus ou moins forte à l'échelle de la culture du fait du calcul de la dose X par la méthode du bilan, tenant compte du précédent, des restitutions de l'éventuel couvert et des reliquats sortie hiver potentiellement plus fort dans le système innov. Le bilan azoté en tenant compte, les doses d'azote sont adaptées en conséquence. C'est ce qu'on peut voir dans la figure 3 ci-dessous qui illustre le cas des blés durs témoin et innovants dans le Lauragais :

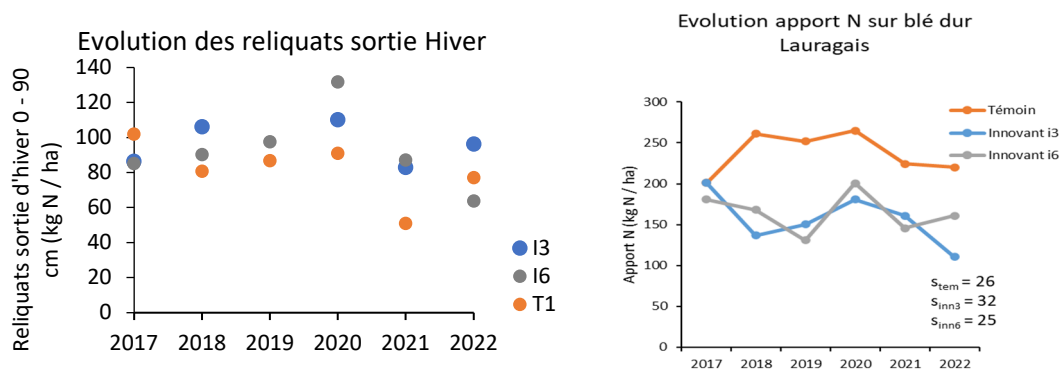


Figure3: Exemple des reliquats sortie hiver mesurés dans les parcelles de blé dur sur la plateforme Lauragais, systématiquement plus forts pour le système innovant (I3 et I6) et les doses d'azote apportées. La méthode du bilan tenant compte des différentes sources des restitutions d'azote minéral, les doses X sont adaptées à chaque modalité.

2. Le pilotage avec CHN conduite permet de gagner en efficacité et de diminuer les apports d'azote sur les blés durs innovants dans le Lauragais

Dans le Lauragais, on constate des différences très marquées dans les quantités d'azote apportées sur une même culture, en l'occurrence les blés durs présents dans le système innovant et celui dans le système témoin. En effet, en moyenne, ce sont entre 72 et 80 kg/ha de moins qui sont apportées sur les blés durs innovants par rapport au témoin (figure 3).

Si la dose initiale nécessaire pour fertiliser les blés durs innovants est plus faible du fait des reliquats plus forts, on fait l'hypothèse que le pilotage de la fertilisation de manière dynamique grâce à l'outil CHN conduite (Soenen et al., 2020) nous permet d'optimiser l'efficacité de l'azote apporté, de maintenir notre potentiel de rendement en économisant encore quelques unités. Cet outil d'aide à la décision (OAD) permet de déterminer la dose et les fréquences d'apport par rapport à un potentiel de rendements, intégrant le choix variétal et le pédoclimat de la parcelle suivie tout au long de la campagne (Taulemesse et al., 2021). Le blé dur témoin est par ailleurs piloté selon le bilan azoté classique : une dose distribuée en 3 apports.

On constate que nos objectifs en termes de rendement et de qualité sont atteints ce que nous permet de dire que l'efficacité de l'azote est améliorée. Il reste à déterminer finement la part du pilotage de la part fournie par le système dans les économies constatées et à estimer le risque de lixiviation. Ces études sont en cours.

3. Les émissions de GES diminuent de manière conséquente et le bilan carbone est amélioré

Le bilan carbone de chacun des systèmes innovants testés sur Syppre a été calculé avec l'outil CarbonExtract développé par Agrosolutions (<https://www.agrosolutions.com/>) et conforme à la méthode Label Bas Carbone Grandes Cultures (Soenen et al., 2021).

La figure 4 montre les réductions d'émission de GES très positives pour les systèmes innovants, du fait des réductions d'azote minéral apporté grâce aux leviers cités précédemment. Ces réductions ont lieu aussi bien au champ (émissions directes de N₂O et indirect de N₂O via la lixiviation et, la, volatilisation) qu'en amont, la fabrication d'engrais minéraux étant très consommatrice d'énergie. Le seul point de vigilance est l'impact très négatif du recours au compost dans le système innovant picard. En effet, le compost étant un déchet, les émissions de GES de son cycle de vie sont importantes et sont attribuées à l'utilisateur final selon les références Agribalyse prises en compte dans la construction de la méthode Label Bas carbone Grandes Cultures (Koch and al., 2022). Ce point fait l'objet de discussion sur l'allocation des émissions amont pour la prochaine version de la méthode LBC-GC.

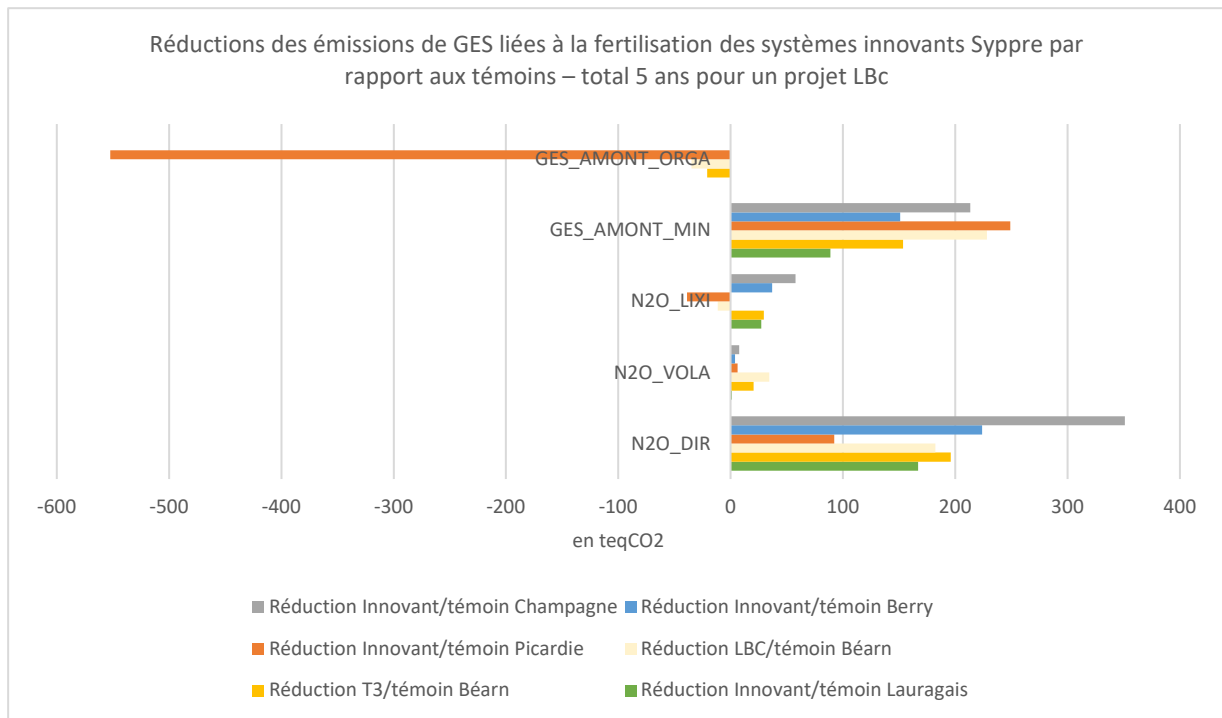


Figure 4: réduction des émissions de GES liées aux pratiques de fertilisation sur les systèmes innovants. Elles sont calculées en comparant les pratiques des systèmes témoins (référence spécifique) et celles des systèmes innovants (projet) sur l'ensemble de la SAU de l'exploitation et à l'échelle des 5 ans que dure un projet label bas carbone. Des valeurs positives indiquent des réductions d'émission, des valeurs négatives indiquent une augmentation des émissions.

		SAU (ha)	Quantité initiale de carbone ¹ (t/ha)	Stockage ² dans le sol	Réduction d'émissions de GES ²		Crédits « carbone » ³	
					Liée à la fertilisation	Liée à la combustion	Sur 5 ans	Par an par ha
Plateforme Syppre	Lauragais	170	28	764	285	18	1067	1,3
	Picardie	160	31	391	-243	-1	147	0,2
	Champagne	180	67	-501	630	20	149	0,2
	Béarn -3	63	88	252	379	-32	599	1,9
	Béarn-BC	63	88	291	399	71	761	2,4
	Berry	150	51	-177	416	0	239	0,3

Figure 5: le bilan carbone des systèmes innovants Syppre détaillé par poste, stockage et fertilisation. Le nombre de crédits carbone généré est présenté à l'échelle de la SAU totale et sur les 5 ans du projet ainsi que par ha et par an. La valeur unitaire du crédit carbone sur les projets agricoles du marché volontaire en France en 2022 était d'environ 40€/TeqCO2 (INFOCC,2023)

On note sur la figure 5 que le bilan carbone des systèmes innovants Syppre est positive pour tous les sites. Le nombre de crédits carbone générés varie entre 0.2 et 2.4 CC par hectare et par année selon que le système innovant destocke ou stocke du carbone dans le sol. En effet certains systèmes innovants, comme dans le Berry ou en Champagne, peuvent accentuer des dynamiques de destockage du fait de la réduction de cultures apportées de résidus à l'échelle de la rotation : c'est notamment le cas du colza présent 1 année sur 9 dans le système innovant du Berry alors qu'il est cultivé 1 année sur 3 dans le témoin. On voit néanmoins sur cette figure que les efforts faits sur la fertilisation compensent le destockage de carbone.

4. Les indicateurs de fertilité du sol montrent des signaux intéressants notamment sur la composante physique.



Témoin

Innovant

C'est sur la fertilité physique et la structure du sol que l'on voit le plus de résultats pour le moment. Plusieurs slake tests (USDA, 2001) ont été réalisés sur Syppre Lauragais et montrent une meilleure stabilité structurale des mottes de terre du système innovant.

En Picardie, des profils de sol à différents moments de la rotation tendent également à montrer une diminution du tassement dans les parcelles du système innovant par rapport au témoin. Ces deux situations sont obtenues grâce à l'ensemble des leviers déployés sur les systèmes innovants : couverts d'intercultures, apport de PRO quand c'est possible, réduction du travail du sol, positionnement des cultures dans la rotation etc.

Figure 4: Slake test réalisé en 2022 dans le Lauragais

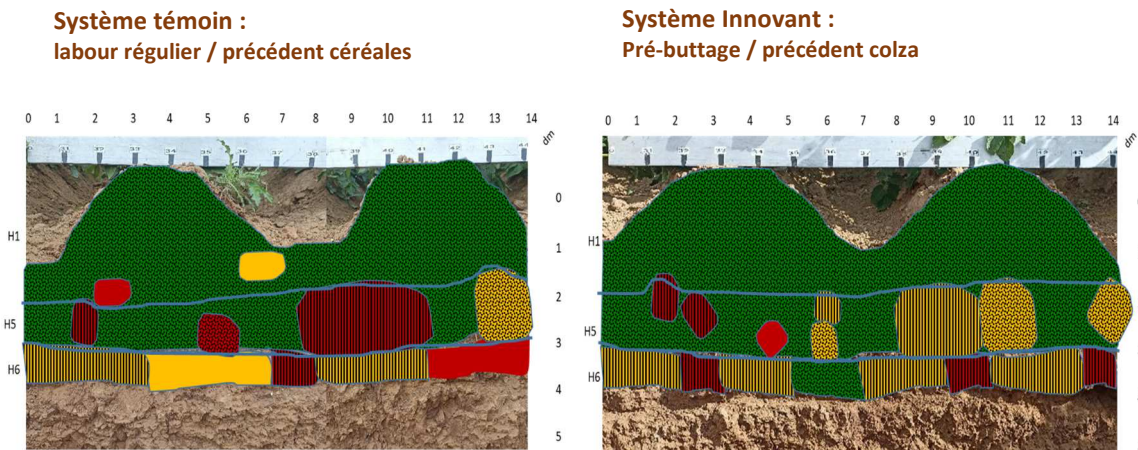


Figure 5: Profils de sol réalisés par Agroturfert dans les modalités pomme de terre en 2022, avec pré buttage pour l'innovant. Le pré buttage consiste à former les buttes en été, implanter un couvert qui les protégera pour ne pas avoir à intervenir au printemps avec des outils rotatifs. Elles sont légèrement reprises avant l'implantation des pommes de terre sans production de terre fine. Les zones rouges sont les plus tassées et elles sont plus nombreuses dans le système témoin.

Sur les autres composantes de la fertilité du sol, nous avons été confrontés à des questionnements méthodologiques dans l'analyse de certains indicateurs, du fait du nombre de mesures disponibles trop faibles. Nous ne pouvons donc pas avancer de résultats pour le moment.

5. Les marges des systèmes innovants restent inférieures à celles des témoins

Les systèmes innovants et témoins sont rentables, avec des marges directes positives (figure 6). Cependant, on observe un écart de 70 à 480 €/ha au détriment des systèmes innovants en fonction des plateformes. Seul le système T3 du Béarn permet de dégager une meilleure marge que le témoin.

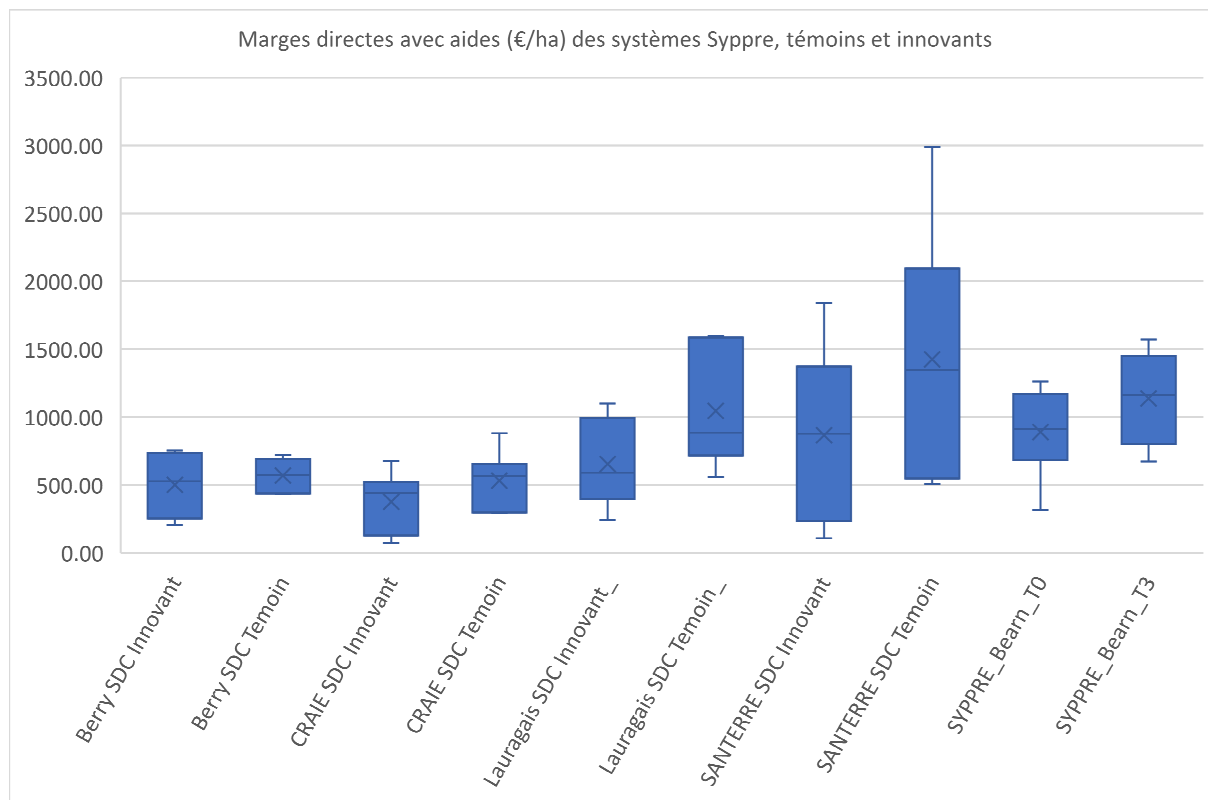


Figure 6 : les marges directes, calculées avec aides, sont très variables mais toujours positives. L'ensemble des systèmes dégagent donc un revenu. Elles sont plus faibles pour les systèmes innovants du fait principalement des cultures de diversification moins productives.

On note comme raison principale de ces écarts la dilution des cultures rémunératrices à l'échelle de la rotation et donc le poids accordé aux cultures de diversification dans le système innovant.

La baisse de la quantité d'azote minéral apportée à la culture permet de diminuer les charges d'engrais mais d'autres charges, notamment phytosanitaires, peuvent augmenter, notamment du fait des traitements herbicides plus nombreux en culture pour pallier l'absence de glyphosate. De ce fait, la marge des cultures peut ne pas être améliorée. On peut le voir sur la figure 7 ci-dessous.

La poursuite de plusieurs objectifs révèle des antagonismes entre certains et obligent à des compromis entre performances

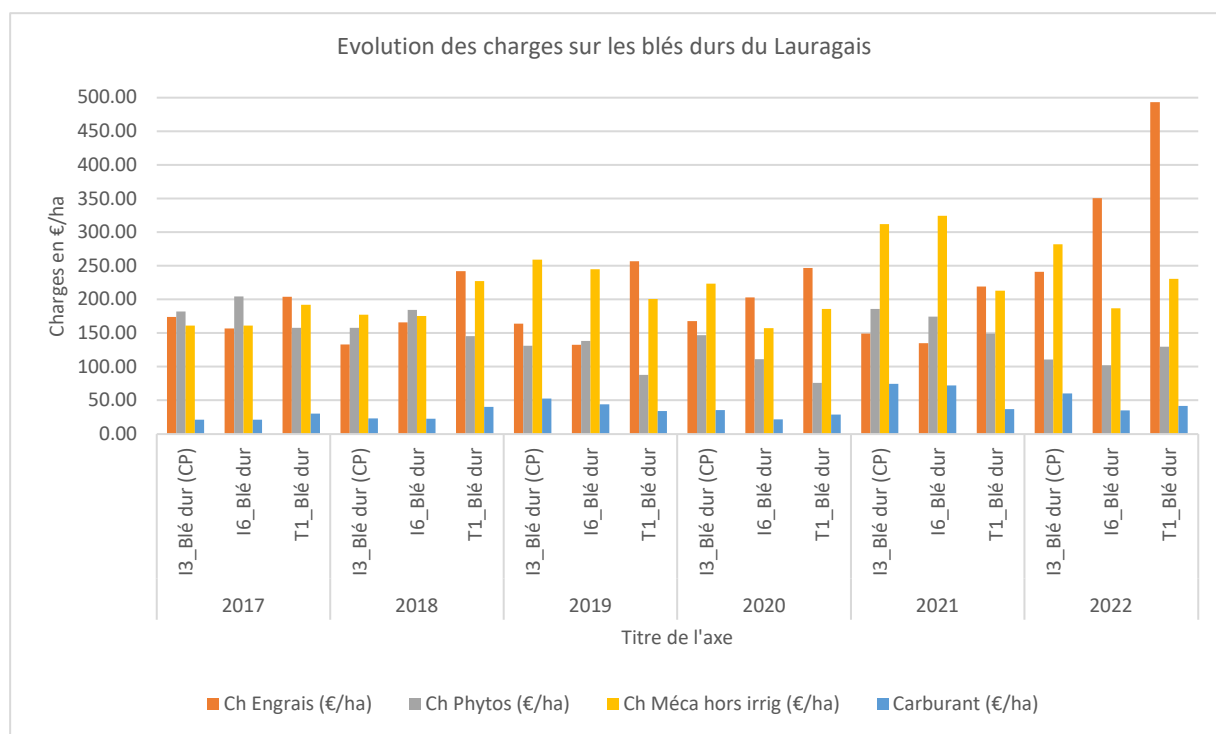


Figure 7 : les différents types de charges sur les blés durs innovants et témoins dans le Lauragais. Si les charges d'engrais diminuent en faveur des innovants, les charges phytos et de mécanisation ont plutôt tendance à augmenter sur les innovants, ce qui compense les économies d'engrais et ne permet pas in fine d'améliorer significativement la marge des blés durs innovants.

DISCUSSION

Le poids accordé à chaque culture de l'assolement influe sur la réussite économique des systèmes innovants

Les systèmes innovants mobilisent très fortement les leviers légumineuses et cultures faiblement exigeantes en azote et chacun des termes de la rotation a le même poids. La valorisation économique de ces cultures est plus faible : soit les rendements sont trop variables même si le prix est bon, soit le rendement est assez stable mais le prix est variable car le marché est petit et donc vite saturé (cas du pois chiche). La pondération choisie entre les différents termes de la rotation impacte directement les performances économiques de manière négative, mais aussi les performances environnementales qui se trouvent très améliorées. Par ailleurs, notre système de référence est particulièrement bien optimisé. Un travail est en cours pour repositionner les performances de nos deux systèmes dans les performances constatées sur le territoire des plateformes Syppre.

La poursuite de multiples objectifs conduit à des compromis de performance.

En effet, les objectifs de réduction de l'IFT, y compris en interculture a nécessité l'introduction de moyens mécaniques pour gérer les adventices et donc une réintroduction du travail du sol fortement réduit lors de la conception des systèmes innovants. Il s'agit donc de faire des compromis entre les performances des systèmes : gestion de l'enherbement tout en maintenant de la fertilité des sols.

Les effets sur la fertilité du sol sont perceptibles mais pas encore quantifiables.

Si des effets positifs des systèmes innovants commencent à se faire voir sur certaines plateformes sur la fertilité physique, il est encore trop tôt pour conclure sur les autres compartiments. En effet, de nombreuses questions méthodologiques demeurent sur la qualification de l'effet du système sur certains indicateurs, biologiques notamment, très sensibles au climat de l'année, et à la culture en place. Les indicateurs type stock de carbone et matière organique seront mesurés finement en fin de rotation.

La valorisation économique liée au « bas carbone », un atout pour aider à la transition agroécologique et compenser les baisses de marge des cultures historiques.

Le bilan carbone des systèmes innovants est positif et permet de valoriser financièrement des efforts faits sur le marché volontaire du carbone grâce à la vente des crédits carbone. Malheureusement aujourd'hui le prix de crédit carbone ne permet de pas de compenser les pertes de marges des systèmes innovants. Il faudrait que celui-ci soit valorisé 200€/teqCO₂ pour couvrir l'écart. Cependant, on peut imaginer que la vente des crédits carbone se cumule avec une meilleure valorisation par les filières aval des cultures historiques mais conduites « bas carbone » avec moins d'intrants azotés par exemple. Les deux dispositifs ne sont pas incompatibles mais complémentaires pour inciter à la transition. Le marché volontaire doit encore illustrer son efficacité.

CONCLUSION

Les systèmes innovants Syppre ont été conçus pour viser la multi performance vis-à-vis d'enjeux économiques, de productivité et environnementaux. Après 7 années d'expérimentation, on constate que les performances environnementales, matérialisées notamment par la quantité d'azote apportée et la réduction des émissions de GES, sont fortement améliorées grâce aux leviers agronomiques mobilisés (insertion de légumineuses en cultures principales et en couverts). Néanmoins, si la diversification des cultures permet d'atteindre ces résultats, elle dégrade aussi la marge des systèmes innovants, qui si elle reste positive, l'est moins que les systèmes témoins expérimentés dans Syppre. Il est intéressant de noter que la diminution des quantités d'azote minéral apportées aux cultures ne se fait pas au détriment de leur besoin azoté : tout est mis en œuvre pour atteindre l'optimum de nutrition azoté et le potentiel de rendement. Certains systèmes commencent à montrer une amélioration de l'efficacité de l'azote comme dans le Lauragais.

Les effets de leviers mobilisés sur la fertilité du sol doivent encore faire l'objet d'analyses pour évaluer leur contribution à une possible amélioration ou maintien du capital sol.

La multi performance est difficile à atteindre car la conduite des essais impose régulièrement des compromis entre les objectifs que l'on poursuit : gérer des adventices sans glyphosate et ne pas travailler le sol par exemple, implanter un couvert ou laisser la parcelle nue pour garder des fenêtres d'interventions mécaniques sur les adventices.

Si les performances économiques des systèmes innovants ne sont pas encore au niveau du témoin, on ne peut qu'encourager la valorisation économique des externalités positives de ces systèmes, via la vente de crédits carbone ou via un meilleur prix d'achat par les filières aval.

BIBLIOGRAPHIE

Clivot, H., Mouny, J.-C., Duparque, A., Dinh, J.-L., Denoroy, P., Houot, S., Vertès, F., Trochard, R., Bouthier, A., Sagot, S., Mary, B., (2019). Modeling soil organic carbon evolution in long-term arable experiments with AMG model. *Environ. Model. Softw.* 118, 99–113. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.04.004>

Comifer, 2013. Calcul de la fertilisation azotée Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales. 159 p.

Constantin, J., Minette, S., Vericel, G. et al. MERCI: a simple method and decision-support tool to estimate availability of nitrogen from a wide range of cover crops to the next cash crop. *Plant Soil* (2023). <https://doi.org/10.1007/s11104-023-06283-1>

Koch P. and Salou T., 2022. AGRIBALYSE®: Rapport Méthodologique- Volet Agriculture- Version 3.1 ; version initiale v1.0 ; 2014. Ed ADEME, Angers, France. 342 p.

Lechenet M., Deytieux V., Antichi D., Aubertot J.-N., Bàrberi P., Bertrand M., Cellier V., Charles R., Colnenne-David C., Dachbrodt-Saaydeh S., Doré T., Farcy P., Fernandez-Quintanilla C., Grandeau G., Hawes C., Jouy L., Justes E., Kierzek R., Kudsk P., Lamichhane J.-R., Lescourret F., Mazzoncini M., Melander B., Messéan A., Moonen A.-C., C Newton A., Nolot J.-M., Panozzo S., Retaureau P., Sattin M., Schwarz J., Toqué C., P. Vasileiadis V., and Munier-Jolain N. 2016. Diversity of methodologies to experiment Integrated Pest Management in arable cropping systems: analysis and reflections based on a European network. *European Journal of Agronomy*. 83.

Toqué, C., Cadoux, S., Pierson, P., Duval, R., Toupet, A.-L., Flénet, F., Carrouée, B., Angevin, F., Gate, P., 2015. SYPPRE: A project to promote innovations in arable crop production mobilizing farmers and stakeholders and including co-design, ex ante evaluation and experimentation of multi-service farming systems matching with regional challenges. 5th International Symposium for Farming Systems Design, 7-10 September 2015, Montpellier, France, pp 385-386

Jouy L., Wissocq A., Berrodier M., Weber S., 2018. Évaluer des systèmes de culture, concevoir des alternatives innovantes et multi-performantes. Poster, Phloème, rendez-vous de l'innovation céréalière. Janvier 2018. 2ème Edition.

Soenen B., Henaff M., Lagrange H., Lanckriet E., Schneider A., Duval R., Streibig J.L., 2021. Méthode Label Bas-Carbone Grandes Cultures (version 1.0). 133p. Disponible sur le site du MTE (<https://www.ecologie.gouv.fr/label-bas-carbone>)

SOENEN, M. BONNEFOY, C. DELPECH, B. PIQUEMAL, P. DESCAZEAUX, F. DEGAN, F. LAURENT, 2019. Mise au point du pilotage intégral de l'azote avec le modèle de culture CHN : approche « CHN-conduite ». In : *Agronomie, Environnement et Sociétés*. Volume 9. Juin 2019. Soenen, B., Degan, F. (2020). CHN-Conduite : Conduire le blé avec un pilotage intégral de l'azote. *Perspectives Agricoles*, 474, 52-54.

Projet SOLÉBIOM - Evaluation de prototypes de systèmes de grande culture orientés vers la production de biomasse pour la bioraffinerie, vis à vis de la préservation du bilan de carbone organique des sols à long terme- Appel à Projet Pivert - porté par Agrotransfert en partenariat avec l'INRAe, Terres Inovia et Arvalis (2015-2018).

Taulemesse, F. (2021). Pilotage intégral de l'azote : ajuster en temps réel les apports azotés. *Perspectives Agricoles*, 486, 61-63.

USDA, 2001. Soil Quality Test Kit Guide. 88 p.

Weber, S., Jouy, L., Angevin, F., Berrodier, M., Emonet, E., Vanhove, P., Viguier, L., Wissocq, A., toqué, C., 2019. SYSTERRE®, an online tool to describe diversified cropping systems, to calculate their performances, and assess their sustainability. European Conference on Crop Diversification, Budapest, Hungary, pp. 333-334