



HAL
open science

AUTO'N -Améliorer l'autonomie azotée des systèmes de culture en Champagne crayeuse

Maeva Guillier, C. Cros, Reau R.

► To cite this version:

Maeva Guillier, C. Cros, Reau R.. AUTO'N -Améliorer l'autonomie azotée des systèmes de culture en Champagne crayeuse. *Innovations Agronomiques*, 2020, 79, pp.193-212. 10.15454/6frb-e556 . hal-03109022

HAL Id: hal-03109022

<https://hal.inrae.fr/hal-03109022>

Submitted on 13 Jan 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

AUTO’N - Améliorer l’autonomie azotée des systèmes de culture en Champagne crayeuse

Guillier M.¹, Cros C.², Reau R.³

¹ Chambre régionale d’agriculture Grand Est – Complexe agricole du Mont Bernard, Route de Suippes, F-51000 Châlons en Champagne

² Agro-transfert Ressources et Territoires - 2, Chaussée de Brunehaut, F-80200 Estrées Mons

³ UMR Agronomie INRAE-AgroParisTech, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon

Correspondance : maeva.guillier@grandest.chambagri.fr

Résumé

Les systèmes de production agricoles français se sont développés au prix d’une dépendance importante vis-à-vis des intrants issus de la chimie de synthèse, et notamment de l’engrais azoté. Cette dépendance a non seulement un coût économique croissant pour les exploitations agricoles, mais elle se traduit aussi par la pollution des eaux (nitrate) et de l’air (ammoniac). Les agriculteurs des régions Champagne-Ardenne et Picardie se sont mobilisés pour réduire cette dépendance tout en assurant une production agricole de qualité, viable et respectueuse de l’environnement. Fédérant les acteurs régionaux économiques, techniques et scientifiques, le projet Auto’N a ainsi été lancé en 2014 pour concevoir et mettre en œuvre des systèmes de culture innovants productifs et économes en engrais azotés de synthèse, tout en promouvant l’innovation par les agriculteurs et l’élargissement des compétences des conseillers. Ces travaux ont été menés en collaboration avec 6 agriculteurs pilotes qui ont co-construit et mis en place sur leurs exploitations des systèmes de culture économes en engrais azotés de synthèse, avec l’appui de leurs conseillers des Chambres d’agriculture et des coopératives régionales. La démarche de conception utilisée ici associe approche systémique et mobilisation de connaissances. Elle combine des techniques culturales à l’échelle pluriannuelle, dans une démarche de gestion adaptative avec observations et analyse des résultats obtenus aux champs, puis adaptation *in itinere* des pratiques afin d’atteindre les résultats attendus. Les objectifs des agriculteurs n’en restent pas à la seule dimension productive et économique, ils intègrent également la fertilité organique de leur sol et la maîtrise des pertes azotées dans l’eau ou dans l’air. Les pistes explorées ont combiné cultures à faibles besoins, légumineuses en culture principale ou en couvert, produits résiduels organiques, recyclage de l’azote en interculture et raisonnement des apports d’azote minéral. En 2018, après 4 campagnes culturales, les systèmes de culture les plus prometteurs sont aussi en rupture avec l’existant et mobilisent de grandes quantités d’azote organique dans une région où cette ressource est limitée.

Mots-clés : fertilisation, azote, conception innovante, légumineuse, matière organique

Abstract: AUTO’N – Nitrogen autonomy of agricultural systems on chalky soil of Champagne

The increase of agricultural production in France depends on the use of chemical inputs in the fields, especially nitrogen fertilizers. This dependency not only has an increasing economic cost for farms, but also impacts on water (nitrate) and air (ammonia) pollutions. Farmers in the Champagne-Ardenne and Picardy regions have been committed to reduce this dependence while ensuring high-quality, viable and environment friendly agricultural production. Bringing together regional economic, technical and scientific actors, the Auto’N project was launched in 2014 to design and implement innovative and

productive cropping systems using few nitrogen fertilizers, while promoting innovation by farmers and expanding the skills of advisors. This work was carried out in collaboration with 6 pilot farmers. They designed together cropping systems using few synthetic nitrogen fertilizers and implemented them on their farms with the support of their advisors from the Chambers of Agriculture and regional cooperatives. The design approach combined a systemic approach and knowledge mobilization. It merged multi-year cropping techniques in an adaptive management approach with observations, measurements and analysis of the results obtained in the fields, followed by an *in itinere* adaptation of practices to achieve expected results. Farmers goals do not only include the productive and economic dimension, they also cover the organic fertility of their soil and the control of nitrogen losses in water and air. The explored paths combined crops with low nitrogen needs, insertion of legumes as pure crop or associated crop, organic waste products, nitrogen recycling during intercrops and management of mineral nitrogen inputs. In 2018, after 4 harvests, the most promising cropping systems were in rupture with the existing ones but they also mobilized large quantities of organic nitrogen in a region where this resource is limited.

Keywords: fertilization, nitrogen, innovative co-designing, legumes, organic matter

Introduction

Nutriment essentiel à la croissance des végétaux, l'azote est un facteur majeur de production agricole (Brown, 1999). Dans les plaines des terres de craie qui s'étendent de l'Aube à l'Aisne, il conditionne la productivité et la qualité de l'approvisionnement de filières agro-industrielles régionales au rayonnement national, voire international (blé meunier, orge de brasserie, betteraves sucrières principalement). Cependant, la fabrication et l'utilisation des engrais azotés engendrent plusieurs revers : la pollution de l'eau (nitrates) et de l'air (émission d'ammoniac), la contribution au changement climatique (émission de Gaz à Effet de Serre), la forte consommation d'énergie lors de leur fabrication et de leur épandage (Nitrogen European Assessment ; Sutton et al., 2011 ; Jeuffroy et al., 2013), ainsi que des coûts économiques croissants pour les exploitations. Une meilleure maîtrise du cycle des nutriments comme l'azote dans les agrosystèmes reste un levier incontournable pour atteindre la multi-performance en agriculture. De plus, travaillant en lien direct avec l'air, l'eau et le sol, le secteur agricole est doublement concerné. Il contribue à la dégradation des milieux et en subit aussi les conséquences.

Par ailleurs, en Champagne-Ardenne, les apports d'engrais de synthèse étaient en moyenne de 137 N/ha/an de SAU pour la campagne 2017/2018 (UNIFA, Agreste). La région se situait ainsi au 2^{ème} rang en France en termes de quantités d'engrais azoté livrées (UNIFA). Cela s'explique autant par les forts potentiels de rendement des sols de craie que par l'importance historique et symbolique des engrais qui, avec la mécanisation, ont permis de mettre en valeur ces terres agricoles dans les années 60, jusqu'alors considérées comme peu productives (Dorel et al., 1983). En plus des engrais azotés de synthèse, sont apportés des engrais organiques issus d'élevage locaux ou importés d'autres régions d'élevage comme le Bénélux. Par ailleurs, la Champagne se distingue aussi par des surfaces importantes en légumineuses et notamment en luzerne destinée à la déshydratation, qui sont totalement autonomes vis-à-vis des engrais de synthèse.

Face à cette dépendance relativement forte de la région aux engrais azotés de synthèse, comment la rendre autonome, au sens de peu dépendante, avec par exemple des exploitations agricoles consommant en moyenne moins de 100 kg N/ha/an ?

Pour relever ce défi, le projet Auto'N a été lancé en 2014 avec l'appui financier du CasDAR, du PSDR4 et du Conseil Régional Grand-Est. Ses objectifs étaient de (i) mettre au point des systèmes de culture autonomes en azote et réussis du point de vue des agriculteurs qui les pratiquent, et décrire ces pratiques afin d'inspirer les acteurs agricoles ; (ii) contribuer à mettre au point des méthodes de conception de systèmes autonomes en azote et de conseil stratégique en autonomie azotée ;

(iii) produire des connaissances sur la dynamique de l'azote et du carbone en terres de craie et des références techniques pour la fertilisation azotée des cultures. Ce projet a réuni autour d'un groupe pionnier de six agriculteurs, des partenaires aux compétences complémentaires provenant du monde de la recherche, du conseil, du développement et de l'enseignement : la Chambre régionale d'agriculture Grand Est, Agro-transfert Ressources et Territoires, l'INRAE, les Chambres départementales d'agriculture de l'Aisne, des Ardennes, de l'Aube, de la Marne, les coopératives Acolyance et Vivescia ainsi que les instituts Arvalis, ITB et Terres Inovia avec le laboratoire LDAR et le lycée d'enseignement agricole EPLEFPA de Somme Vesle. Le projet a exploré des pistes pour être peu dépendant des engrais azotés de synthèse dans des exploitations agricoles, sans compromettre les niveaux de production et la qualité des produits. En intégrant les motivations et critères de réussite propres à chacun, ils ont permis à ces six agriculteurs de construire une stratégie pour devenir autonome en azote, puis de commencer à la mettre en œuvre tout en l'ajustant pas à pas.

1. Une méthode de conception et d'accompagnement pas à pas innovante

Les méthodes mobilisées dans Auto'N s'inspirent de théories de la conception innovante issues des sciences de gestion (Ecoles de mines, INRAE), de la co-innovation (Wageningen University Research) et de méthodes opérationnelles d'évaluation de la réussite et des performances proposées par le RMT systèmes de culture innovants (RMT SdCi) et le RMT Fertilisation et Environnement, avec des outils comme SYST'N ou SIMEOS-AMG. Cette approche mixe des théories sur la conception et sur l'accompagnement du changement, avec des activités de conception *de novo* et de conception pas à pas (Meynard et al., 2012), afin de contribuer au changement et à l'innovation dans les exploitations en valorisant les savoir-faire et les connaissances de chacun des acteurs (Reau et al., 2012).

Les travaux récents dans les domaines de la gestion de l'azote comme de la protection intégrée ont permis d'établir que :

- (i) Construire un projet autour d'un objectif de résultats favorise le changement car il génère une dynamique favorable au dialogue entre pairs, comme avec les autres acteurs des territoires (Prost et al., 2018) ;
- (ii) Le choix des objectifs en matière de résultats attendus dans les champs est un élément-clé pour construire l'implication des agriculteurs. La recherche de pratiques à privilégier se concentre ensuite sur ces résultats à atteindre (Berthet et al., 2016) ;
- (iii) Reconcevoir des pratiques agricoles est un processus dynamique qui se construit et s'accompagne dans le temps et qui ne se résume donc pas à imaginer ponctuellement des pratiques innovantes (Meynard et al., 2012) ;
- (iv) Un tableau de bord basé sur des observations au champ est utile à l'accompagnement de la conception pas à pas de systèmes en contribuant à l'apprentissage de l'agriculteur et de son conseiller (Reau et al., 2016), et en facilitant l'amélioration continue de son système.

Inspirée par ces travaux, la méthode de conception des systèmes de culture autonomes en azote est décrite dans la Figure 1.

Cette activité avec les agriculteurs a été pilotée par l'animatrice du projet de 2015 à 2018, le plus souvent accompagnée des conseillers des agriculteurs.

1.1 Caractérisation du cadre d'objectifs et de contraintes de chaque agriculteur

La première étape de l'accompagnement a été de formaliser les motivations de l'agriculteur et ses contraintes en matière de gestion de l'azote. Trois services attendus de l'azote par les agriculteurs dans leurs parcelles ont ainsi été identifiés : l'alimentation azotée des cultures, la maîtrise des pertes d'azote

et le stockage de matière organique dans le sol. Pour chaque agriculteur, chaque service a été caractérisé selon l'importance qu'il lui accordait et les résultats attendus et observés dans ses parcelles ; cela a ensuite été traduit en indicateurs, via des variables avec leurs seuils d'acceptabilité. Les objectifs de conception ont ainsi été formalisés. Des contraintes fortes ont ensuite été ajoutées : par exemple « ne plus apporter d'engrais azotés de synthèse pour passer à l'agriculture biologique », ou « une dose d'engrais de synthèse moyenne de moins de 100 kg N/ha/an ». Ce cadre d'objectifs et de contraintes a ensuite été utilisé comme « cible » à atteindre durant l'atelier de co-conception.



Figure 1 : Méthode de co-construction de systèmes de culture utilisée

1.2 Ateliers de conception entre agriculteurs

Chaque agriculteur a bénéficié d'un atelier dédié, avec la présence des autres agriculteurs du groupe qui jouaient alors un rôle de « consultant » au service du premier, nommé « agriculteur central ». Ainsi, 6 ateliers de conception ont été organisés en 2015 et 2016, à l'issue desquels 6 systèmes de culture ont été conçus et mis en place sur les exploitations.

Ces 6 ateliers ont été un lieu de « production d'idées » : l'agriculteur central a présenté sa question et son défi aux autres agriculteurs du groupe, qui en retour ont proposé des pistes, sur la base de leurs propres expériences ou de leurs connaissances. Le but était d'ouvrir le champ des possibles, de laisser libre cours à la créativité pour que l'agriculteur central puisse accéder à des idées nouvelles et choisir parmi celles-ci les pistes à approfondir.

Ainsi, l'agriculteur central a présenté sa cible aux autres agriculteurs du groupe, c'est-à-dire les résultats qu'il voulait atteindre dans ses champs et la dose d'azote minéral de synthèse limite qu'il s'était fixée (si possible chiffrés). Ces cibles sont présentées dans le Tableau 3 pour chaque agriculteur.

Les autres agriculteurs du groupe ont d'abord proposé des pistes pour atteindre cette cible, qui prenaient la forme de pratiques à mettre en œuvre ou de fonctions à mobiliser dans les champs ; ils ont ensuite utilisé ces pistes pour construire un ou plusieurs prototypes de systèmes de culture. La réussite des ateliers était conditionnée par des règles strictes :

1. Les participants ne jugeaient ni les pratiques, ni l'objectif de l'agriculteur central : son projet lui appartenait, il était le seul à pouvoir le juger et à décider à la fin de ce qu'il retenait ou ne retenait pas ;
2. L'exercice portait sur le système à mettre en place à long terme (au moins une dizaine d'années) : ce qui permettait de mettre de côté dans un premier temps les contraintes de réglementation, de faisabilité, de technicité, ... pour se consacrer à la pertinence du projet ;

3. Lors de l'atelier, chacun tenait un rôle précis, en passant par des phases d'écoute des autres, et des phases d'expression. Il n'a pas été facile pour l'agriculteur central de ne pas se manifester durant les réflexions, mais l'utilisation de ces règles a facilité la communication et l'émergence de nouvelles idées.

L'ensemble des pistes proposées lors des ateliers ont été recensées et organisées selon les fonctions qu'elles permettent d'atteindre dans une carte des idées (Figure 2).

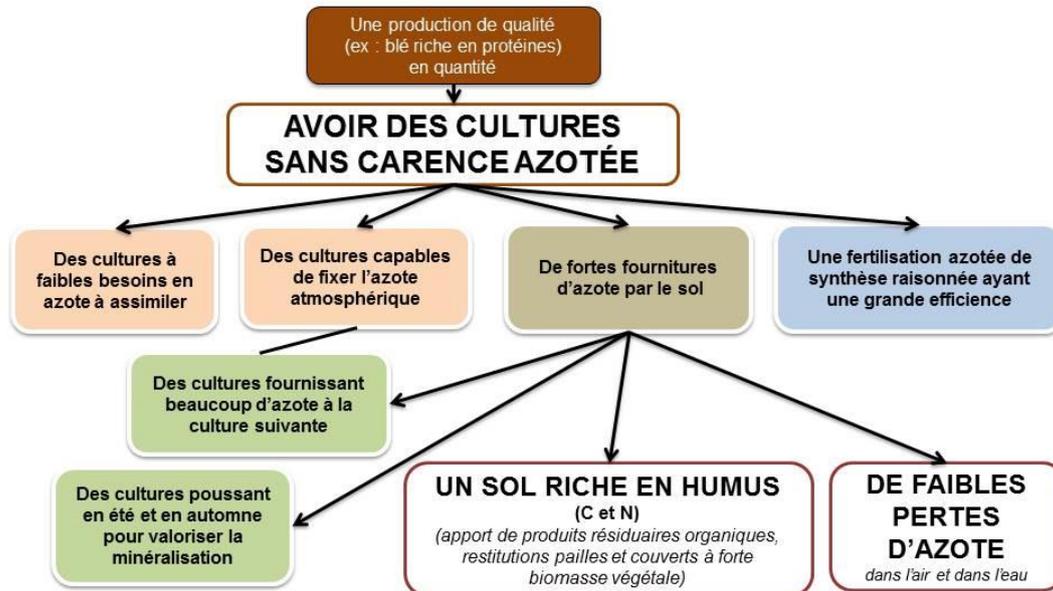


Figure 2 : Grandes thématiques de la carte des idées issues des ateliers

Suite à l'atelier, l'agriculteur central a défini, lors d'un entretien chez lui avec l'animatrice du projet et son conseiller, le prototype du système de culture qu'il a ensuite mis en œuvre sur une ou plusieurs de ces parcelles. Le projet d'autonomie en azote pour l'exploitation s'est concrétisé à partir de différents éléments : successions de culture, place des légumineuses dans les cultures de production comme dans les cultures intermédiaires, fertilisations azotées prévues, dose moyenne d'engrais de synthèse prévue (degré d'autonomie azotée), niveaux de nutrition azotée attendus pour les différentes cultures, richesse en matière organique du sol souhaitée à terme, pertes d'azote à ne pas dépasser, ...

1.3 Accompagnement stratégique de l'agriculteur et re-conception pas à pas

L'accompagnement stratégique de chaque agriculteur avait pour but d'adapter ses pratiques culturales pour la campagne suivante au regard du bilan de la campagne précédente : réussite de l'année précédente, diagnostic des échecs, apprentissages acquis au cours de l'année, nouvelles ressources apparues récemment. Il s'agit ici de choix stratégiques qui conditionnent les pratiques à moyen terme (c'est-à-dire sur les mois et les années à venir par exemple), par opposition aux choix tactiques qui conditionnent les pratiques à court terme (sur les jours et les semaines à venir par exemple). Cet accompagnement a été réalisé en quatre étapes successives :

- Observer les résultats obtenus dans les champs cultivés selon le système de culture mis en œuvre au cours de l'année,
- Estimer les écarts entre résultats obtenus et résultats attendus,
- Analyser et comprendre ces écarts pour expliquer les causes, en cas d'échec en s'appuyant sur un tableau de bord résumant les relations de cause à effet entre les pratiques clés et les

résultats attendus et précisant concrètement les résultats et les états attendus s'ils ont évolué,

- Reconcevoir ou changer le prototype, et décider du système de culture qui sera mis en œuvre par la suite.

Un tableau de bord du projet a été préparé avec chacun des six agriculteurs et leur conseiller pour servir de support au diagnostic des résultats obtenus en fin de campagne. Ce tableau de bord peut concerner l'ensemble de la rotation (ex : quand le principal résultat attendu est un niveau de pertes d'azote par hectare) ; il peut aussi être décliné culture par culture de la rotation (ex : lorsqu'il s'agit d'analyser la nutrition en azote de chacune d'entre elles). Les tableaux de bord formalisent la stratégie de l'agriculteur. Au-delà d'une simple évaluation, il s'agit d'abord d'un outil de diagnostic alimenté par des mesures et observations afin d'aider l'agriculteur à expliquer les causes d'un échec éventuel vis-à-vis des résultats qu'il attendait, puis à rebondir en adaptant ou en changeant sa façon de cultiver pour l'année suivante. Le Tableau 2 décrit les mesures et les observations qui ont été effectuées sur les parcelles et leur utilisation pour l'accompagnement des agriculteurs dans le diagnostic et la reconception du système de culture pour l'année suivante.

Pilier de l'accompagnement stratégique, l'évaluation de la réussite par les agriculteurs de leurs parcelles a été réalisée dans le premier semestre 2018 en incluant des indicateurs de performance globale. L'intérêt était de reprendre, dans un premier temps, les critères de réussite identifiés chez chaque agriculteur au début du projet pour savoir s'ils avaient été atteints et ensuite expliquer les écarts aux résultats attendus par l'agriculteur.

Afin d'aider l'agriculteur à comprendre ce qu'il s'est passé sur ses parcelles, ce diagnostic avec le tableau de bord a été complété par une production de connaissances à partir d'outils de simulation plus complexes comme :

- LIXIM (Estimation des flux d'azote et d'eau pendant la période de drainage à partir de mesures de reliquats)
- SYST'N (Estimation des pertes d'azote dans l'environnement à l'échelle du système de culture)
- STICS (Estimation des flux d'air et d'eau dans le système sol-plante à l'échelle de l'année culturale) ;
- SIMEOS-AMG (Estimation de la dynamique de stockage de matière organique dans le sol)
- AzoFert® (Estimation des fournitures en azote du sol et calcul de la dose prévisionnelle)
- SYSTERRE® (Calcul d'indicateurs économiques, sociaux et environnementaux à l'échelle du système de culture)

L'observation dynamique des parcelles a été nécessaire pour alimenter ce tableau de bord et accompagner l'agriculteur dans l'analyse des résultats de ses parcelles et reconcevoir son système de culture pour l'année suivante si nécessaire (en cas d'échec). En cas de réussite, pendant plusieurs années successives, les outils ci-dessus ont permis d'évaluer les performances du système éprouvé chez lui sur d'autres critères de performances, moins importants pour l'agriculteur, ou importants pour d'autres acteurs. Ils ont également contribué à produire de nouvelles connaissances sur la dynamique de l'azote en terres de craie.

2. Le groupe d'agriculteurs et les mesures et observations réalisées

2.1 Diversité des exploitations du groupe

La première action du projet a été de constituer le groupe d'agriculteurs pour concevoir et mettre en place sur leur exploitation des systèmes de culture peu dépendants des engrais azotés de synthèse.

Le groupe constitué a dû respecter plusieurs critères :

- Représentativité de la diversité des systèmes de production présents en terres de craie (selon la typologie INOSYS utilisée dans le diagnostic régional dans la première phase du projet)
- Représentativité de tous les départements des terres de craie (Aube, Ardennes, Aisne et Marne).

Le groupe final est présenté dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Descriptif des exploitations agricoles du projet en 2016

Agriculteur	Dpt	Type de système en 2016	SAU (ha)	UTH	Assolement « Auto'N » en 2016	
(A)	08	Betteravier spécialisé (+ agriculture biologique)	250	3	BTH : 33% Betterave : 17% Orge de P : 17%	Tournesol : 17% Pois de P : 16%
(B)	51	Betteravier spécialisé (agriculture de conservation)	200	1	BTH : 50% Betterave : 37% Pois d'H : 13%	
(C)	10	Polyculture-Porcs (avec méthaniseur)	180	5	Betterave : 20% Lég. PG : 20% Orge de P : 20%	Orge d'H + CIVE : 20% BTH : 10% Maïs grain : 10%
(D)	51	Cultures Industrielles diversifiées	275	3	BTH : 26% Betterave : 26% Pomme de terre : 16% Orge de P : 11%	Luzerne : 11% Orge d'H : 5% Blé hybride : 5%
(E)	51	Polyculture Bovin viande	550	5	BTH : 38% Betterave : 33% Luzerne : 14%	Orge de P : 10% Orge d'H : 5%
(F)	51	Polyculture Bovin viande	260	2,5	BTH : 40% Colza : 17% Betterave : 16% Luzerne : 13%	Orge de P : 9% Tournesol : 2,5% Lentille : 2,5%

Dpt : Département ; SAU : Surface Agricole Utile ; UTH : Unité de Travail Humain ; BTH : Blé Tendre d'Hiver ; P : Printemps ; H : Hiver ; Lég. PG : Légumineuses Porte-graine

Avant la mise en place de systèmes de culture innovants, les parcelles engagées par les agriculteurs dans le projet ont été sondées à la tarière en 2015 et 2016 afin d'identifier les types de sol présents. Une fosse a été creusée par type de sol dans chaque parcelle. Dans la fosse principale réalisée dans le type de sol majoritaire, chaque horizon a été analysé (granulométrie, densité apparente, matière organique, N total). Des analyses de terre ont été effectuées pour chaque zone de prélèvements afin d'en déterminer les caractéristiques générales (analyses physiques et chimiques de l'horizon travaillé).

Ces données ont également servi au paramétrage et à l'utilisation des outils de simulation, qui ont été utilisés comme supports de réflexion avec les agriculteurs (AzoFert®, STICS, SYST'N) et ce, dans le but de mieux caractériser les flux d'eau, d'azote et de carbone au sein des 4 compartiments air-eau-sol-plante dans les différents systèmes étudiés.

2.2 Les mesures et observations réalisées

A la suite des ateliers de conception, chaque agriculteur a mis en place son système de culture sur un îlot de parcelle. Dans un premier temps en 2016, les observations ont été concentrées sur 2 ou 3 parcelles, permettant ainsi d'analyser les résultats de 2 ou 3 cultures de la rotation. Les agriculteurs testant parfois des pratiques en dehors des parcelles fléchées dans le cadre du projet, des mesures ont été réalisées ponctuellement sur d'autres parcelles de l'exploitation, afin de couvrir plus de cultures de la rotation chaque année.

A partir de 2018, les observations de l'azote dans le sol (reliquats entrée et sortie hiver) et dans les plantes (prélèvement de couverts d'interculture) ont été étendues de manière systématique à un plus grand nombre de cultures de la rotation. Il est en effet important de considérer l'ensemble des parcelles d'un même système de culture afin d'analyser comment chaque agriculteur les observe pour apprendre du prototype, puis éventuellement changer ses pratiques quand les résultats ne correspondent pas à ses attentes.

Tableau 2 : Mesures et observations réalisées dans l'accompagnement stratégique des agriculteurs

Service évalué	Observations des agriculteurs (exemples)	Mesures (en gras : systématiques)	Interprétation attendue
Alimentation azotée des cultures	Symptômes de carences en fin de cycle	Teneur en N des cultures (à floraison pour les céréales)	Indice de nutrition azotée pour connaître les carences azotées de la culture
		Teneur en N des cultures + N absorbé par le témoin sans engrais N min	Coefficient apparent d'utilisation de l'azote apporté
Quantité d'azote fourni par le système sol-plante	Développement du couvert implanté après la moisson	Reliquat Après Récolte	Qté d'N min dans le sol disponible pour l'implantation des CI Qté d'N min apporté ou minéralisé non valorisé par la culture
	Hauteur, densité ou stade de développement des légumineuses	Qté N dans les légumineuses (plante entière et graines)	Qté d'N total apporté au système par fixation symbiotique Qté d'N exporté par les légumineuses
	Hauteur, couleur, densité des CIPAN (interculture)	Qté N dans les CIPAN Quantité d'N dans les résidus de culture	Qté d'N recyclé dans le système par les couverts d'interculture Qté d'N org restitué au sol et potentiellement minéralisable pour la culture suivante
	Date du décrochement de couleur par rapport au témoin	Témoin sans azote : N absorbé ou Rendement biologique	Qté d'N total fourni par le sol ou Qté d'N min du sol valorisé par la culture
Lessivage de l'azote	Hauteur et densité des non légumineuses en septembre	Qté N dans les CIPAN	Quantité d'N min « sauvé »
		Reliquat Entrée Hiver Reliquat Sortie Hiver	Qté d'N min perdu par lessivage
Stockage de C org	Structure, agrégats, humidité, couleur de l'horizon superficiel	Teneur en C des cultures principales (parties restituées et exportées)	Evolution du stock de C org dans le sol (Bilan MO)
		Teneur en C org du sol tous les 5 ans	Stock de C org dans le sol

min : minéral ; org : organique ; MO : Matière Organique

3. Exemples de systèmes autonomes conçus

L'ensemble des agriculteurs du projet ont conçu leur système de culture au regard de leurs objectifs et ont commencé à le mettre en œuvre pour devenir autonomes en azote de synthèse. Des mesures et des observations ont été réalisées sur les parcelles des agriculteurs (Tableau 2) pour connaître et comprendre les résultats des champs cultivés de cette façon. Les quantités d'azote de synthèse

apportées sont celles des premières années du dispositif, elles ne préjugent pas par exemple des doses qui seront nécessaires et suffisantes dans les sols où l'on aura accumulé beaucoup de matières organiques comme le souhaitent certains de ces agriculteurs.

Les systèmes des agriculteurs (A), (B) et (C) sont détaillés de manière plus approfondie ci-après.

3.1 Description des objectifs

L'agriculteur (A) a converti son exploitation à l'agriculture biologique au cours du projet. Il se devait donc d'atteindre l'entière autonomie vis-à-vis des engrais azotés de synthèse à la fin de la conversion complète de son exploitation. Ses principaux objectifs étaient (i) de ne pas engendrer de pertes économiques à cause de carences azotées, (ii) d'entretenir la vie du sol et le stock de matière organique, en préservant la biodiversité sur ses parcelles (Tableau 3). Son système de culture intègre des légumineuses sur toutes ses parcelles tous les ans, en couverts d'interculture, en couverts associés ou en cultures principales, afin de fixer beaucoup d'azote atmosphérique. Il a également recours à un apport d'azote organique chaque année sur chaque parcelle (Tableau 4).

L'agriculteur (B), étant situé sur une aire d'alimentation de captage, a mis en avant la maîtrise des pertes azotées et la performance économique de son système. Il a donc choisi de limiter les carences azotées pour ne pas perdre de rendement ni de qualité, et surtout de recycler autant que possible l'azote durant les intercultures, notamment via les couverts d'interculture capables de relarguer l'azote piégé pour la culture suivante.

Enfin, l'agriculteur (C) a construit son système en visant une fertilisation uniquement organique et endogène fourni par son élevage porcin (lisier) et son méthaniseur (digestat). Il a également introduit dans sa rotation des Cultures Intermédiaires à Vocation Energétique (CIVE), alimentant le méthaniseur.

Tableau 3 : Résultats attendus par chaque agriculteur dans ses parcelles vis-à-vis de l'azote en 2015 (services principaux en gras, services peu importants en petit)

Agriculteur	Alimentation azotée des cultures	Maîtrise des pertes azotées	Stockage de MO	Autonomie en N de synthèse
(A)	Pas de pertes économiques dues aux carences	-	Sol « Vivant »	Moins de 90 uN/ha, puis 0 uN/ha
(B)	Pas de pertes de rendement ou qualité dues aux carences	RSH 1 ^{er} horizon > 2 ^{ème} et 3 ^{ème} horizons	Vitesse de l'Actisol > 7km/h	Charges en N min < 10% du produit brut céréales
(C)	Pas de pertes € dues aux carences	-	Pivots des racines droites	Pas d'N min
(D)	Cultures intermédiaires après blé sans carence azotée	REH < 60uN/ha	Teneur à 4% dans 30 ans	Moins de 90 uN/ha
(E)	« Aller chercher les derniers quintaux »	REH < 60uN/ha	-	Moins de 110 uN/ha
(F)	Aucune carence en azote	Moutardes < 1m	-	Moins de 110 uN/ha

3.2 Les pratiques clés mises en œuvre pour répondre aux objectifs

Les principales pratiques clés des systèmes de culture mises en œuvre pour répondre aux objectifs de chaque agriculteur sont recensées dans le Tableau 4.

Ces pratiques ont évolué entre 2016 et 2018 lors de la conception pas à pas au regard des résultats insatisfaisants obtenus dans les champs, des nouvelles opportunités d'achat des intrants ou des nouveaux objectifs que se fixait l'agriculteur.

Tableau 4 : Principales caractéristiques des systèmes de culture de chaque agriculteur en 2018. Plus la couleur est foncée, plus le levier est important dans le système - *En italique* : pratique réadaptée en 2018, différente de celle initialement prévue en 2016

	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
Cultures à faibles besoins en N	<i>Tournesol, Céréales à faibles besoins</i>		Blé fourrager, Orge de printemps et hiver	Orge de printemps	Orge de printemps	Tournesol
Légumineuses (% rotation)	<i>Luzerne, associations céréale-lég. (33,5%)</i>	<i>Test puis arrêt du pois d'hiver (cause économique)</i>	Pois, féverole et trèfle violet porte-graine (20%)	<i>Luzerne (20%)</i>	Luzerne (14%)	Lentilles, luzerne (17%)
Couvert interculture restitué (% rotation)	56 %	76 % <i>Couvert de trèfle sous colza (12,5%)</i>	50% <i>(maintien des repousses de légumineuses)</i>	40%	43 %	40 %
Apport de MO	<i>Fumier pailleux 1an/6, Fientes 3ans/4</i>	Vinasses tous les 2-3 ans	Digestat tous les ans	Vinasses ou boues tous les 3 ans	<i>Fumier composté tous les 4 ans</i>	Fumier pailleux tous les 6 ans
Efficiences des apports		Pilotage, <i>Forme, Blé : 5 apports</i>	Enfouissement	<i>Forme, INN (blé)</i>	<i>Forme, Soufre, INN (blé)</i>	<i>Pesée, Pilotage 2^{ème} et 3^{ème} apport</i>

3.2.1 Insertion de légumineuses dans les systèmes

Le système de l'agriculteur (A) est totalement autonome vis-à-vis de l'azote de synthèse suite à sa conversion à l'agriculture biologique. Depuis 2018, l'azote du système provient des matières organiques apportées et de la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique (Figure 3).



Figure 3 : Provenance de l'azote alimentant le système de l'agriculteur (A) en uN/ha/an

Le système de culture testé sur ses parcelles contient aussi bien des cultures à faibles besoins azotés (ex. : tournesol) que des cultures à fixation symbiotique, c'est-à-dire des légumineuses soit en cultures pures (ex. : luzerne), soit en cultures associées (Figure 4).

Ainsi, pour cet agriculteur, les niveaux d'entrée d'azote dans le système sont très élevés grâce à la place des légumineuses, introduites de façon à servir en priorité aux cultures plutôt nitrophiles. Il est intéressant de remarquer que le passage en agriculture biologique ne s'est pas accompagné d'une augmentation des apports d'azote organique.

L'agriculteur (B) a quant à lui introduit le pois d'hiver dans son système de culture conventionnel lors des trois premières années du projet. Suite aux mauvais résultats économiques engendrés par cette légumineuse, il a décidé de renoncer à l'implantation de cette culture dans sa rotation. Cette situation témoigne ainsi de l'importance des débouchés et l'impasse technique à laquelle font face les agriculteurs pour le pois.



Figure 4 : Cultures associées à des légumineuses sur les parcelles (A) en 2018

3.2.2 Implantation de couverts d'interculture

Différentes conduites des couverts d'interculture sont possibles selon les objectifs recherchés : production d'énergie, production de fourrage, biodiversité, piégeage d'azote pour maîtriser les pertes par lessivage en hiver, économie d'azote pour la culture suivante, entretien de la fertilité du sol, ...

Les agriculteurs du projet ont tous implanté des couverts, suivant un ou plusieurs de ces objectifs :

- **Des couverts d'interculture pour la maîtrise des pertes par lessivage**

Pour l'agriculteur (B), ayant un parcellaire regroupé sur une aire d'alimentation de captage, les couverts d'interculture assurent deux principales fonctions :

- (1) Piégeage de l'azote du sol afin de produire de l'eau « propre », grâce aux Cultures Intermédiaires Pièges A Nitrates (CIPAN)

Par exemple, ce service rendu est clairement visible en 2017 sur les parcelles (B)-a et (B)-b (Figure 5) puisqu'elles permettent de réduire l'azote présent dans le sol de 96 N/ha en post-récolte à 59 N/ha en entrée hiver pour la parcelle (B)-a, et de 106 N/ha en post-récolte à 54 N/ha en entrée hiver pour la parcelle (B)-b.

- (2) Recyclage de l'azote minéral afin de produire un engrais renouvelable à moindre coût

En 2018, les reliquats après récolte de la parcelle (B)-c n'étaient pas très élevés, avec environ 30 N/ha sur 90 cm. Les couverts ont alors permis, non seulement de capter l'azote minéralisé durant l'été avec des brassicacées, mais aussi d'apporter de l'azote par fixation symbiotique avec des légumineuses, pour finalement assurer un « pool » d'azote potentiellement utilisable pour la culture suivante (Figure 5).

• **Des couverts d'interculture pour économiser de l'azote pour la culture suivante**

Les couverts d'interculture, lorsqu'ils ne sont pas exportés de la parcelle, ont permis de restituer de l'azote pour la culture suivante, diminuant ainsi la fertilisation minérale exogène. A titre d'exemple, sur les parcelles suivies de l'agriculteur (A) de 2015 à 2017, les couverts d'interculture ont pu absorber de 68 à 107 N/ha (Figure 6). L'azote relargué pour la culture suivante pouvait varier de 14 N/ha pour les intercultures courtes ou pour l'orge de printemps (au cycle plus court et qui profite donc moins de la minéralisation de l'azote du sol), à 35 voire 53 N/ha pour les intercultures longues avant les cultures d'été (Figure 7).

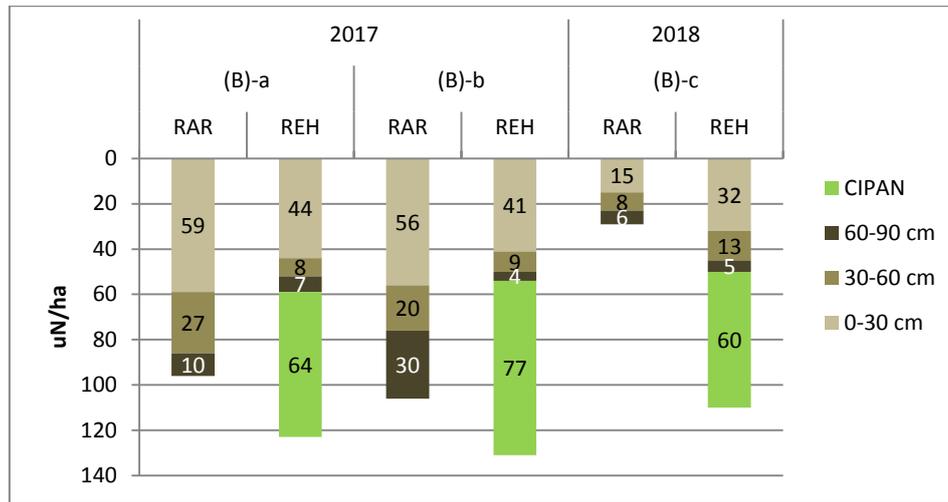


Figure 5 : Exemple de piégeage d'azote par les CIPAN sur 3 parcelles en Blé Tendre d'Hiver de l'agriculteur (B) en 2017 et 2018. RAR = Reliquat Après Récolte ; REH = Reliquat Entrée Hiver ; Précédents du Blé : (B)-a : Pois d'hiver ; (B)-b et (B)-c : Betterave

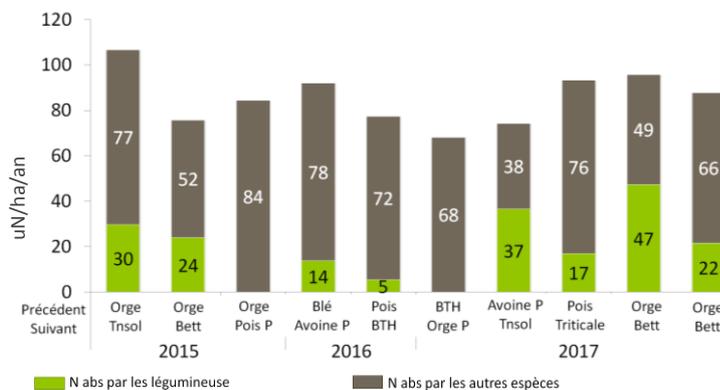


Figure 6 : Azote contenu par les couverts de l'agriculteur (A) de 2015 à 2017.

Tnsol : Tournesol ; Bett : Betterave ; P : Printemps ; H : Hiver

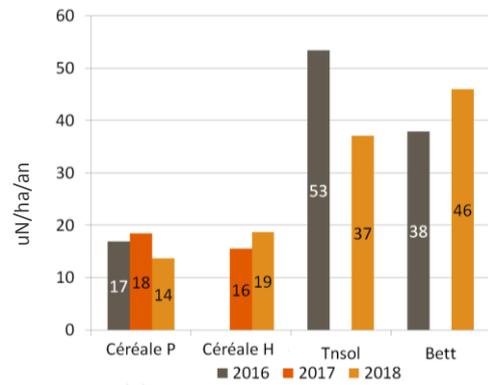


Figure 7 : Azote potentiellement relargué par les couverts de l'agriculteur (A) pour les cultures suivantes de 2016 à 2018.

• **Des couverts d'interculture pour produire de la biomasse énergétique**

Les couverts d'interculture peuvent également être une ressource de biomasse à valorisation énergétique, c'est le cas pour l'agriculteur (C), qui alimente ainsi en partie l'unité de méthanisation qu'il détient avec 5 associés. Les biomasses de ses CIVE ont ainsi pu atteindre entre 6 et 8,5 tMS/ha en 2017 (Figure 8).

L'azote de ses couverts est ainsi recyclé dans le méthaniseur, lui fournissant une source d'azote organique à travers le digestat, néanmoins composé à 20% d'azote ammoniacal dont le taux d'absorption est équivalent à celui de l'azote minéral pour les céréales.

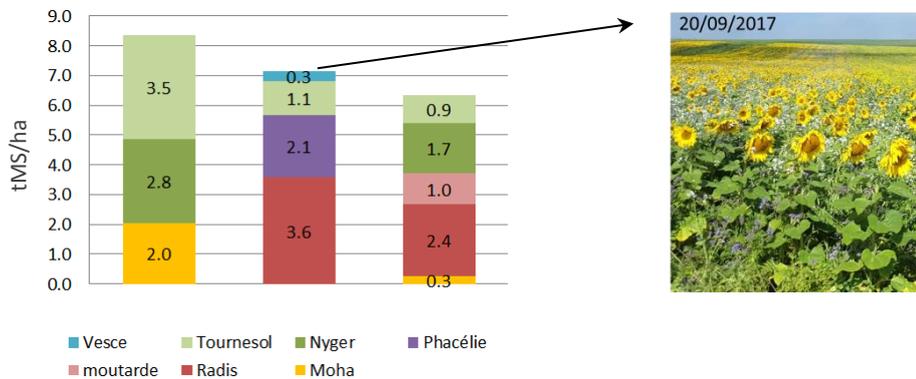


Figure 8 : Biomasse (tMS/ha) des couverts d'interculture de l'agriculteur (C) sur 3 parcelles en 2017

3.2.3 Substitution de l'azote minéral par l'azote organique

L'agriculteur (C) a substitué peu à peu l'azote minéral de synthèse de son système par l'azote organique et ammoniacal contenu dans son digestat de méthanisation. En effet, 136 N/ha sont apportées en moyenne sur la rotation par le digestat et les couverts d'interculture restitués aux parcelles, soit 74% de l'azote total alimentant le système (Figure 9).

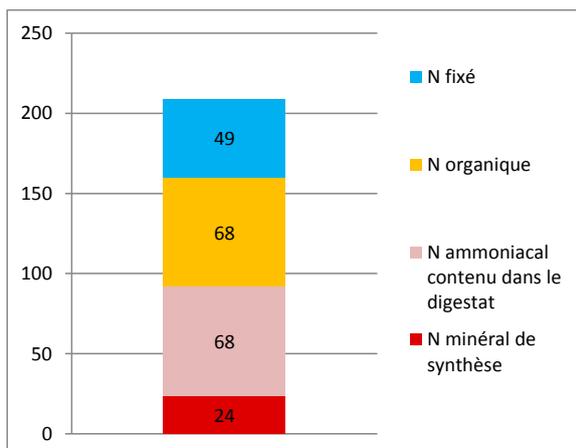


Figure 9 : Provenance de l'azote alimentant le système de l'agriculteur (C) en uN/ha/an

3.2.4 Repenser le pilotage des apports d'azote minéral sur blé

Deux agriculteurs (Tableau 4) ont décidé de tester une nouvelle méthode de pilotage de l'azote sur blé dite « INN » (Indice de Nutrition Azotée) issue des travaux de Ravier (2017). Cette méthode a pour but de réaliser des apports d'azote les plus efficaces possibles pour le blé (adéquation besoins de la plante – conditions optimales d'assimilation). Elle consiste en effet à décider des moments des apports en fonction uniquement de la pluviométrie annoncée (et non des stades des cultures) et des doses à apporter selon un suivi dynamique de son état de nutrition via l'estimation de son INN par des mesures au champ grâce à un capteur de chlorophylle (type pince N'Tester®). Les agriculteurs ayant testé la méthode ont dû se l'approprier, acquérir de nouvelles connaissances et adopter un regard différent sur leurs parcelles de blé pour leur raisonnement stratégique de la fertilisation. En 2018, cette méthode a permis à l'agriculteur (E) d'économiser 80 kg/ha d'azote minéral sans perte de rendement sur la parcelle suivie (Figure 10).

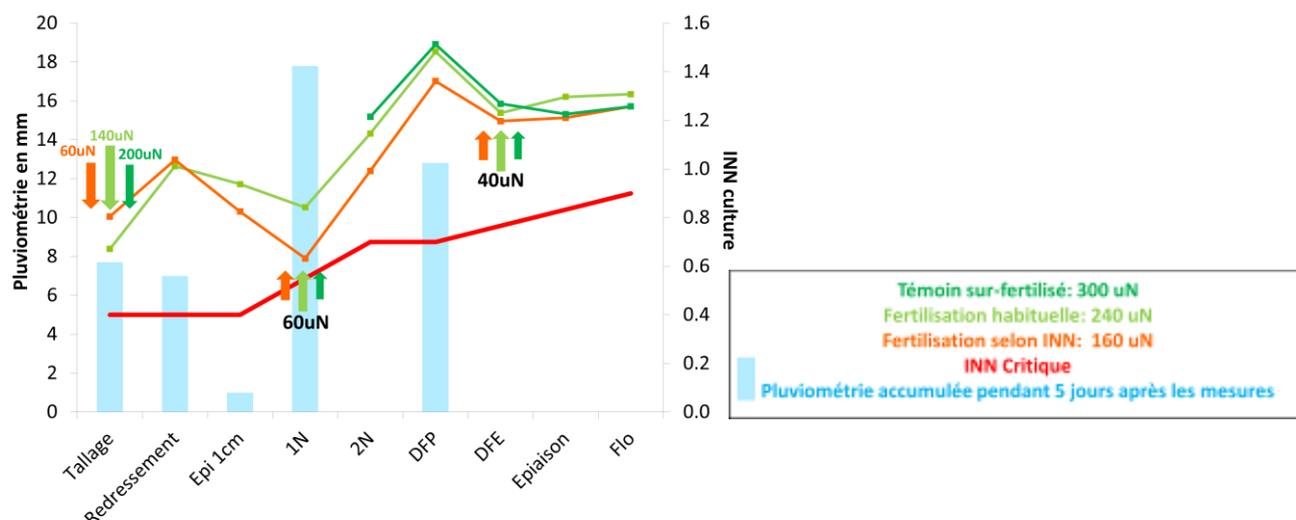


Figure 10 : Evolution de l'INN sur les parcelles de l'agriculteur (E) en relation avec la pluviométrie en 2018. N : Nœud ; DFP : Dernière Feuille Pointante ; DFE : Dernière Feuille Étalée ; Flo : Floraison

3.3 Autonomie en azote de synthèse obtenue dans les exploitations

Pour la conception des systèmes de culture, les principales alternatives ont donc été :

- (i) Choisir, parmi des cultures à marges brutes similaires, celles à faibles besoin en azote ou à fixation symbiotique ;
- (ii) Planter des couverts en interculture pour recycler l'azote minéral du sol et parfois fixer l'azote atmosphérique ;
- (iii) Fixer de l'azote atmosphérique par des cultures de vente ;
- (iv) Utiliser de l'azote organique pour les cultures de printemps.

On peut croiser deux de ces alternatives et établir différents « niveaux » d'autonomie vis-à-vis de l'azote minéral en positionnant les 6 agriculteurs du projet selon l'importance des alternatives testées sur leur système de culture conçu (Tableau 5).

Tableau 5 : Autonomie en azote minéral de synthèse des 6 agriculteurs en 2018

Apports d'effluents organiques (Moyenne/ha/an)	> 80 uN			(C) 12 u (digestat 136 u)
	60-80 uN			
	40-60 uN	(E) 105 u	(F) 119 u	(A) 0 u
	< 40 uN	(B) 106 u	(D) 112 u	
Unité d'azote :		10 à 15 %	15 à 20%	Plus 20%
u = kg N de synthèse/ha/an		Part des légumineuses de production dans l'assolement		

Deux des agriculteurs du groupe ont des systèmes de culture indépendants ou presque vis-à-vis de l'azote de synthèse : l'agriculteur (A) est complètement autonome tandis que l'agriculteur (C) est en passe de le devenir. Ils sont parvenus à leurs objectifs en terme d'alimentation des cultures, de stock de matière organique ou de maîtrise des pertes d'azote en ayant plus de 20% de légumineuses dans leur assolement et en appliquant plus de 40 unités d'azote sous forme de fertilisation organique par hectare

et par an. Ces agriculteurs ont travaillé pour être totalement autonomes en azote, soit par conversion de l'exploitation à l'agriculture biologique (agriculteur (A)), soit par production d'azote organique facilement assimilable via l'élevage porcin et la méthanisation (agriculteur (C)).

Les quatre autres agriculteurs ont une dépendance plus élevée, en appliquant en moyenne 105 à 119 unités. Ils cultivent moins de 20% de leur sole en légumineuses et appliquent moins de 60 unités d'azote organique. Pour la plupart, ils n'ont pas encore atteint leurs objectifs vis-à-vis du stockage de carbone et de maîtrise des pertes d'azote. Cela s'explique par le fait qu'ils travaillent depuis moins longtemps à l'atteinte de ces objectifs et que les changements de pratiques qu'ils ont effectués en ce sens sont plus récents. L'acquisition des compétences techniques est donc plus longue d'une part et d'autre part, les résultats des pratiques mises en œuvre seulement à partir de 2016 n'auront un résultat que dans plusieurs années.

Cependant, les doses d'azote minéral de synthèse apportées à l'échelle du groupe sont 30% plus faibles que la moyenne régionale. La Figure 11 montre, en moyenne par hectare et par an sur l'assolement, les sources d'azote dans les systèmes de culture conçus à l'issue des ateliers de conception en 2016, et celles des systèmes de culture reconçus à l'issue des bilans de réussite en 2018. Deux de ces agriculteurs ((D) et (E)) ont maintenu le niveau d'autonomie qu'ils avaient choisi en 2016 ; deux autres ((B) et (F)) ont renforcé leur contrainte sur l'utilisation d'engrais de synthèse.

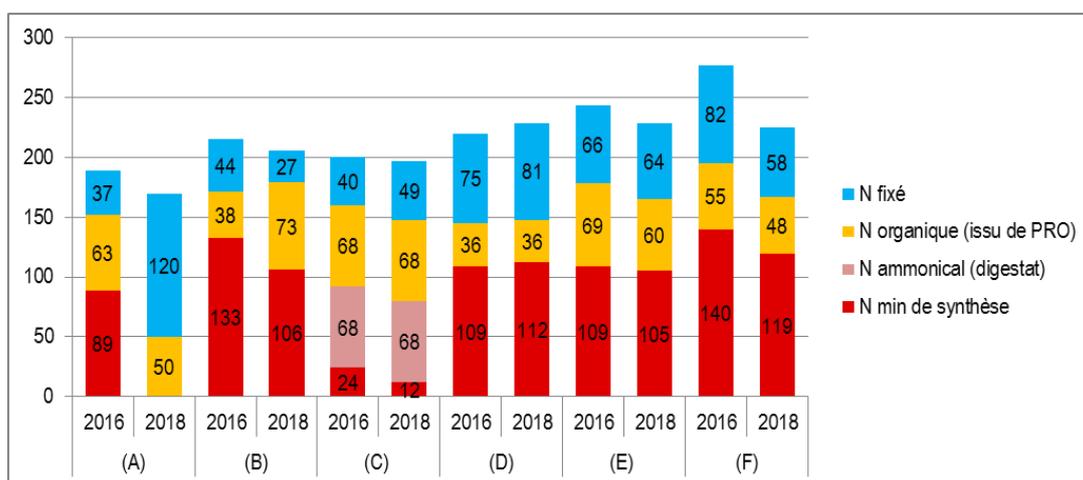


Figure 11 : Parts des différentes sources d'azote qui alimentent le prototype de système de chaque agriculteur conçu en 2016 puis révisé en 2018 (en uN/ha/an). PRO : Produits Résiduaire Organiques ; min : minéral

Les deux agriculteurs qui ont cessé d'apporter de l'azote de synthèse ont une forte dépendance à l'azote provenant de matières organiques, soit étrangères (ex : fientes de poules hollandaises) pour l'agriculteur (A), soit produites par l'atelier animal ou le méthaniseur de l'exploitation pour l'agriculteur (C). D'autre part, les simulations des dynamiques des stocks de carbone avec l'outil SIMEOS-AMG ont montré que la plupart des systèmes conçus stockaient de la matière organique. Il sera important d'analyser comment se comporteront ces systèmes de culture lorsque les dynamiques de minéralisation et d'organisation du sol seront proches de l'équilibre.

4. Evaluation de la multiperformance globale des systèmes de culture testés

Enfin, l'évaluation *a posteriori* de leurs systèmes a été réalisée afin (i) d'analyser si les résultats réellement obtenus correspondent à ce qui était attendu et (ii) d'estimer la performance globale de ces systèmes et ce, en identifiant les services rendus en compléments des critères de réussite mis en avant par chacun de ces agriculteurs.

4.1 Atteinte de l'autonomie azotée au regard des objectifs des agriculteurs

Les résultats de 2016 ont été discutés avec les agriculteurs lors de l'entretien de re-conception pas à pas de leur système au regard de leurs objectifs fixés *a priori* en 2015. L'atteinte de leur objectif en 2016 concernant l'autonomie en azote de synthèse est recensée dans le Tableau suivant.

Tableau 6 : Confrontation de l'autonomie en azote de synthèse des systèmes en 2016 par rapport aux objectifs fixés *a priori* par les agriculteurs en 2015

Agriculteur	Objectif d'autonomie en azote de synthèse <i>a priori</i> (en kg N de synthèse/ha/an)	Atteinte de l'objectif en 2016 au regard de la situation en 2015
(A)	60 (année charnière de conversion du système en agriculture biologique)	42%
(B)	110	54%
(C)	0	84%
(D)	90	62%
(E)	110	100%
(F)	100	20%

Cette auto-évaluation à l'issue de la première année du projet a été une étape importante dans la conception pas à pas du système afin de réadapter la stratégie adoptée par chacun des agriculteurs. Outre cette évaluation *a posteriori* de la réussite des systèmes de culture par l'agriculteur, la performance globale de ces systèmes a été caractérisée via une évaluation multicritère.

4.2 Evaluation de la multiperformance globale des systèmes

L'objectif est d'estimer si les choix pris par l'agriculteur pour atteindre l'autonomie azotée auront des conséquences importantes sur les enjeux de durabilité, qui peuvent ne pas figurer dans les résultats attendus pas les agriculteurs.

Premièrement, les objectifs de cette évaluation ont été définis puis ont été mis en lien avec les mesures effectuées sur les parcelles (Tableau 2). Ces mesures ont, de fait, été utilisées à la fois pour l'accompagnement des agriculteurs ainsi que pour la production de références exploitables à destination des partenaires du projet.

L'évaluation des performances a été construite autour de 7 critères choisis par un groupe de travail composé des organisations professionnelles agricoles et des instituts techniques et scientifiques du projet, évalués par un ou plusieurs indicateurs. Les indicateurs et valeurs seuil ont été définis en parallèle des critères de réussite de chaque agriculteur, illustrant ainsi les spécificités de chaque situation (Tableau 7).

Cette méthode d'évaluation a été élaborée entre 2016 et 2018.

Tableau 7 : Indicateurs et valeurs seuils de l'évaluation globale des systèmes de culture

Critère de performance	Indicateur choisi	Valeur seuil défavorable (performance = 0%)	Valeur seuil favorable (performance = 100%)
Autonomie en azote	N absorbé par toutes les cultures (récoltées ou non) / N total apporté au système	1 (autant d'azote absorbé que d'azote apporté)	3 (3 fois plus d'azote absorbé que d'azote apporté)
Fertilité des sols à long terme	Stockage de carbone des sols sur 30 ans	< 1 ‰ (t/ha/an)	> 4 ‰ (t/ha/an)
	Teneur en carbone dans les 20 premiers cm à 30 ans	< 1,28%	> 1,74%
Maîtrise des pertes d'azote	Pertes d'azote totales du système	110% des pertes d'azote dans le bassin de la Seine en 2006 soit : 63 N/ha/an (Billen, 2015)	Pertes d'azote dans le bassin de la Seine en 1896 soit : 17 N/ha/an (Billen, 2015)
Limitations des émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)	Emissions de GES par poste et par culture (calcul SYSTERRE®)	Emissions de GES du système standard de Champagne crayeuse, calculé selon EGES® ¹ (références nationales)	Emissions de GES du système standard de Champagne crayeuse sans fertilisation azotée, calculé selon EGES® ¹ , (références nationales)
Maîtrise du transfert des Produits Phytopharmaceutiques (PPP) dans l'eau	Risque de transfert des PPP (calculé via le logiciel iPhy 2 eso)	0	10
	Indice de Fréquence de Traitement (IFT)	<i>Selon IFT de référence régional pour chaque typologie de système</i>	
Performance économique	Marge brute (MB) à l'échelle du système de culture	50% de la MB moyenne des systèmes de culture en Champagne crayeuse de 2011 à 2016 soit : 651 €/ha (FDSEA 51)	150% de la MB moyenne des systèmes de culture en Champagne crayeuse de 2011 à 2016 soit : 1953 €/ha (FDSEA 51)
Capacité d'approvisionnement des filières	Tonnages des 5 produits principaux de la région normalisés pour une exploitation de 180 ha	Aucune culture des filières de la région produite	Betterave : 3 028 t/an à 16% sucre Orge : 219 t/an Blé : 549 t/an à 11,5% TP Colza : 97 t/an Luzerne : 258 t/an

¹ Outil EGES® en ligne en accès libre sur la Plate-forme d'évaluation Agro-Environnementale PLAGÉ

La multiperformance des systèmes de culture mis en œuvre par les agriculteurs a été évaluée en 2018 sur la campagne 2017. Les résultats de cette évaluation sont présentés dans la Figure 12.

Néanmoins, d'autres indicateurs pourraient venir compléter cette évaluation comme par exemple la biodiversité observée sur les parcelles, la charge de travail ou encore la capacité nourricière du système de culture voire d'exploitation.

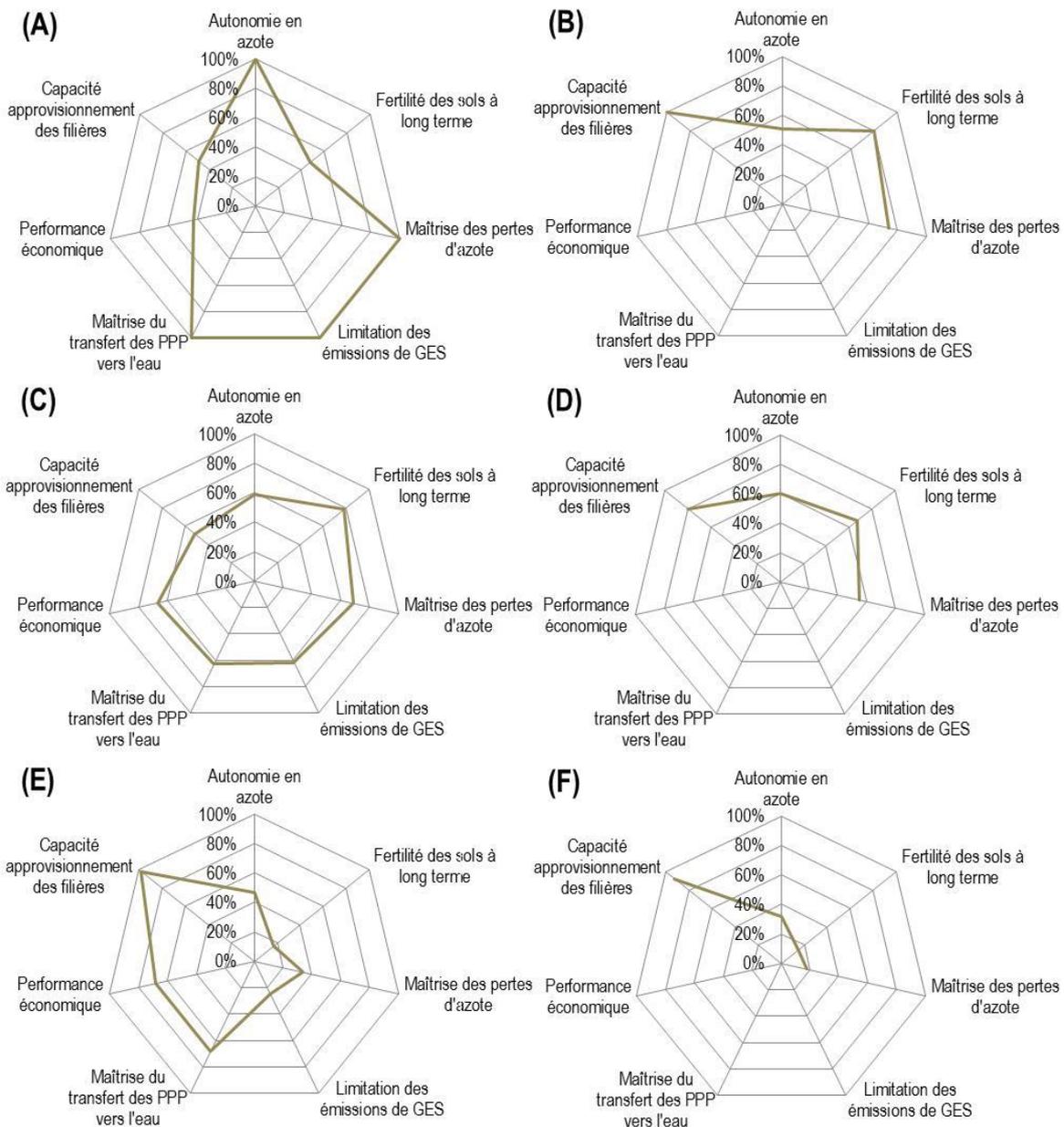


Figure 12 : Evaluation globale des systèmes de culture mis en œuvre par les agriculteurs en 2017 selon les 7 critères de multiperformance définis

L'agriculteur (A) atteint 100% de performance sur 4 des 7 critères évalués. En effet, il maîtrise par exemple les pertes d'azote sur ses parcelles grâce, entre autres, à l'implantation de couverts d'interculture. De plus, être totalement autonome vis-à-vis de l'azote de synthèse lui permet de limiter ses émissions de gaz à effet de serre étant donné que le poste le plus émissif sur les exploitations de type grandes cultures est celui des intrants azotés. En revanche, l'indicateur sur la viabilité économique

du système n'est pas très élevé, ce qui s'explique par les ajustements liés à l'acquisition de compétences techniques pour passer au mode de production biologique (les aides n'étant pas prises en compte dans l'indicateur). L'agriculteur (C) quant à lui, atteint 80% de performance sur le critère de la fertilité des sols à long terme grâce à l'apport régulier de matières organiques sur ses parcelles depuis 20 ans. Il semblerait que pour 4 agriculteurs sur 6, le critère de l'autonomie azotée soit négativement corrélé à celui de la capacité du système à approvisionner les filières, malgré le fait que la luzerne améliore sensiblement l'autonomie azotée.

Conclusion

Le projet Auto'N a permis de tester, opérer et capitaliser sur une méthode de conception de systèmes de culture économes en azote de synthèse, combinant atelier de conception *de novo* et reconception pas à pas au vu des premiers résultats. A partir de ces résultats, une méthode de conception en atelier d'agriculteurs été formalisée par le RMT SdCi (Reau et al., 2018).

Un partenariat pluridisciplinaire a été constitué mêlant acteurs de la recherche, du développement, conseillers agricoles et agriculteurs. Cette démarche d'accompagnement consiste non seulement à transférer des connaissances acquises par les observations et les mesures réalisées sur les parcelles, mais aussi à partager des connaissances entre agriculteurs. Elle a permis de stimuler l'invention de nouvelles façons de cultiver par les agriculteurs eux-mêmes, acteurs centraux dans la décision des changements de pratique. Les expérimentations menées par ces agriculteurs ont confirmé l'intérêt de techniques-clés pour une grande autonomie en azote de synthèse en terres de craie pour le monde agricole : légumineuses en culture principale ou intermédiaire, fertilisation et amendement organique, etc. Les agriculteurs du groupe sont devenus les initiateurs du changement et ont été dans la capacité d'expliquer les facteurs de réussite ou d'échec de leur stratégie au regard de leurs objectifs agronomiques.

Différentes voies ont été explorées tout au long de ce projet pour viser l'autonomie azotée en terres de craie. Cependant, des questions restent en suspens à la fin de ce projet. En effet, que signifie être autonome en azote dans une région de polyculture ? L'azote organique constitue-t-il une autre forme de dépendance s'il n'est pas produit sur l'exploitation ? De plus, l'avenir des débouchés des légumineuses questionne également sur la pérennité des systèmes de culture mis en place dans le projet Auto'N. La luzerne, culture phare de la région, est également concernée par cette problématique puisque les industries aval (déshydratations) dépendent aussi de la filière betterave actuellement fragilisée suite à l'arrêt des quotas betteraviers en 2017.

Enfin, comment déployer les innovations qui ont commencé à être identifiées chez cette poignée d'agriculteurs ? Plusieurs pistes sont maintenant à développer : les techniques élémentaires utiles à cette autonomie étaient déjà connues pour l'essentiel, il s'agit maintenant de décrire et faire connaître les combinaisons de techniques efficaces afin d'inspirer d'autres agriculteurs et conseillers tout en les replaçant dans leur contexte économique. Il est également important de consolider la démarche de conception et de conseil stratégique mise en œuvre dans le projet tout en la simplifiant afin de la rendre préhensible par les conseillers et ce, en les formant et en les accompagnant.

Références bibliographiques

Berthet E., Barnaud C., Girard N., Labatut J., Martin G., 2016. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59, 280-301.

Billen G., Garnier J., Lassaletta L., 2015. Perturbations des cycles de l'azote aux échelles globales et locales, 6èmes rencontres régionales Poitou-Charentes de la recherche et du développement, pp. 8-14.

Brown L.R., 1999. Feeding nine billion. State of the World, New York, pp. 115-132.

Dorel G., Duménil C., 1983. L'évolution de l'agriculture en Champagne-Ardenne (pendant les 30 dernières années). Les disparités spatiales de la démographie – L'agriculture en Champagne-Ardenne, Travaux de l'institut de Géographie de Reims, 55:56, 87-113.

Jeuffroy M.H., Gate P., Machet J.M., Recous S., 2013. Gestion de l'azote en grandes cultures : les connaissances et outils disponibles permettent-ils de concilier exigences agronomiques et environnementales. Cahier Agriculture, 22, 249-57.

Meynard J.M., Dedieu B., Bos A.P., 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. Farming Systems Research into the 21st century: The new dynamic Springer, Netherlands, pp. 405-429.

Prost L., Reau R., Paravano L., Cerf M., Jeuffroy M-H., 2018. Designing agricultural systems from invention to implementation: the contribution of agronomy. Lessons from a case study. Agricultural Systems, 164, 122-132.

Ravier C., 2017. Conception innovante d'une méthode de fertilisation azotée : Articulation entre diagnostic des usages, ateliers participatifs et modélisation. Sciences agricoles, Paris, 211p.

Reau R., Monnot L.A., Schaub A., Munier-Jolain N., Pambou I., Bockstaller C., Cariolle M., Chabert A. et Dumans P., 2012. Les ateliers de conception de systèmes de culture pour construire, évaluer et identifier des prototypes prometteurs. Innovations Agronomiques, 20, 5-33.

Reau R., Cros C., Leprun B., Merot E., Omon B., Paravano L., 2016. La construction des schémas décisionnels et leur mobilisation dans le changement des systèmes de culture. AE&S, 6:12, 83-92.

Reau R., Cerf M., Cros C., Ferrané C., Geloën M., Lefèvre V., Pasquier C., Petit M-P., Schaub A., 2018. Ateliers de conception de systèmes de culture. Guide pour leur réalisation avec des agriculteurs. RMT SCi, IDEAS, 35 p.

Sutton M.A., Howard C.M., Erisma J.W., Billen G.H., Bleeker A., Grennfelt P., van Grinsven H., Grizzetti B., 2011. The European Nitrogen Assessment – Sources, effects and policy perspectives. Cambridge University Press, 612 p.

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).