



2009-2015

Expérimentation système de culture de Rouffach



Anne Schaub (ARAA), Aimé Blatz (INRA Colmar), Olivier Rapp (ARAA)



Janvier 2017

RESUME	3
INTRODUCTION	4
<i>Des attentes de la société</i>	4
<i>Une opportunité pour l'agriculture</i>	4
<i>L'intérêt des expérimentations systèmes de culture innovants dans ce contexte</i>	5
<i>Les enjeux pour les grandes cultures spécifiques au Piémont haut-rhinois</i>	6
CONCEPTION DU SYSTEME DE CULTURE	9
<i>Contexte biophysique</i>	9
<i>Contexte socio-économique</i>	10
<i>Groupe de conception</i>	10
<i>Objectifs assignés au système de culture</i>	11
<i>Principes de conception du système de culture</i>	11
DISPOSITIF EXPERIMENTAL	12
<i>Type de dispositif</i>	12
<i>Mesures et observations</i>	13
<i>Organisation du partenariat</i>	14
COMPOSANTE DECISIONNELLE DU SYSTEME DE CULTURE	14
COMPOSANTE TECHNIQUE DU SYSTEME DE CULTURE	19
RESULTATS AGRONOMIQUES ET REUSSITE DU SYSTEME SELON SON PILOTE	22
<i>Une maîtrise insatisfaisante des adventices</i>	26
<i>Une évolution plutôt favorable de la structure du sol</i>	26
<i>Une fertilité chimique satisfaisante</i>	26
<i>Variation interannuelle des rendements</i>	28
PERFORMANCES DE DURABILITE DU SYSTEME.....	28
<i>Performances du système selon ses concepteurs</i>	28
<i>Contribution du système de culture au développement durable</i>	38
ENSEIGNEMENTS DE L'EXPERIMENTATION, REFERENCES PRODUITES.....	42
<i>Cheminement pour mettre au point le système de culture</i>	42
<i>Combinaisons de techniques performantes</i>	43
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	44
<i>Pistes d'amélioration du système de culture</i>	44
<i>Evolutions du milieu à suivre particulièrement sur le long terme</i>	44
<i>Développer les liens avec le groupe DéphyFERME Grandes cultures 68</i>	45
<i>Valoriser davantage le dispositif et les résultats dans l'enseignement au lycée agricole</i>	45

<i>Réseaux nationaux d'expérimentations système : mutualiser les résultats pour établir des connaissances plus génériques</i>	45
ANNEXES.....	46

RESUME

Le système de culture innovant alternatif à la monoculture de maïs grain irriguée labourée, testé à Rouffach depuis 2009, a pour objectif de limiter les pertes de nitrates et de phytosanitaires vers la nappe, consommer peu de produits phytosanitaires et d'énergie fossile (directe et indirecte), améliorer la fertilité du sol, tout en restant rentable et peu consommateur de temps de travail.

C'est une rotation maïs-soja-blé avec une cipan à base de légumineuse avant maïs. Le système est en non labour et irrigué. Les stratégies initiales ont été peu à peu améliorées et le système est stable depuis la campagne 2013. L'évaluation des performances du système entre 2013 et 2015 montre que le système atteint ses objectifs, à l'exception de l'usage des produits phytosanitaires.

La marge semi-nette du système de culture Innovant est meilleure que celle du système de Référence (monoculture de maïs grain irriguée, labourée) pour des prix de maïs faibles et inversement en cas de prix élevés. Le temps de traction est plus faible pour le système Innovant et le temps sans intervention sur la parcelle est de 14 semaines.

Les pertes de nitrates vers la nappe, calculées à partir de mesures dans des bougies poreuses, sont de 35% plus faible en Innovant. Le risque de pertes de phytosanitaires vers les eaux souterraines sont très faibles (note I-Phy 9,2), malgré l'IFT élevé (2,4 dont 1,9 pour les seuls herbicides). Les substances actives suivantes ont été retrouvées dans les bougies poreuses à 1 m de profondeur : bentazone (Basagran sur soja), fluroxypyr (Tomigan sur blé et Starane Gold sur maïs), imazamox (Pulsar sur soja), glyphosate (entre blé et maïs) et son métabolite l'AMPA.

La consommation d'énergie fossile, directe et indirecte, est 38% plus faible dans le système Innovant, qui reste cependant très consommateur car irrigué (22 GJ/ha/an).

Les résultats agronomiques sont satisfaisants, à l'exception de la maîtrise des adventices. La flore a évolué, avec notamment davantage de panics et de sétaies, favorisés par le travail superficiel (par rapport au labour) et encore plus par le semis direct. On remarque aussi l'apparition de chardon, de rumex et de laiteron, également favorisés par le non labour. On observe un salissement global plus important des parcelles avec le temps, avec des levées échelonnées. Cette dégradation provient aussi en partie du manque de maîtrise technique des pulvérisations, avec des traitements par hygrométrie trop faible et sur des stades trop avancés d'adventices.

La portance et la structure du sol sont satisfaisantes quand le travail du sol est réalisé en bonnes conditions (sol suffisamment ressuyé). Le strip-till assure la bonne implantation du maïs. Le semis direct du blé permet une bonne implantation. La fertilité chimique est globalement satisfaisante avec des teneurs en K échangeable et en matière organique qui augmentent. Les teneurs en P Olsen ont par contre diminué.

Le système continuera à être testé au moins sur une rotation, en mettant l'accent sur l'amélioration des conditions de pulvérisation et la diminution de l'usage des herbicides. Les évolutions de flore et de fertilité du sol (physico-chimique, mais aussi biologiques) seront en particulier suivies.

INTRODUCTION

Des attentes de la société

Comme tout secteur d'activité économique, et plus encore en raison de son insertion dans les territoires, l'agriculture subit des pressions sociétales fortes, à la fois à une échelle locale et globale. Les citoyens attendent des productions végétales de qualité, en quantité suffisante pour combler leurs besoins alimentaires, industriels, et énergétiques, et qui respectent l'environnement, depuis les ressources non renouvelables jusqu'aux milieux en passant par la biodiversité, tout en luttant contre le changement climatique.

Adapter la conduite des grandes cultures à la marge ne paraît pas suffisant pour répondre de façon ambitieuse à la multiplicité des enjeux. Par exemple, les systèmes de culture actuels sont intrinsèquement dépendants de l'utilisation d'intrants (énergie, engrais, phytosanitaires) qui ont des impacts sur l'environnement à travers leur production ou leur usage. Si l'objectif est de réduire de façon significative la consommation d'intrants, il devient nécessaire de changer la logique des systèmes de culture, de les reconcevoir en profondeur : la succession, les itinéraires techniques, la prise en compte des bordures de parcelles, la synergie des techniques. Chaque technique individuelle a un effet limité, mais leur combinaison pertinente rend l'ensemble efficace. C'est une approche systémique (globale).

Une opportunité pour l'agriculture

L'agriculture se doit d'imaginer des modes de production qui contribuent mieux au développement durable en répondant à la fois aux exigences environnementales réclamées par la société, aux exigences économiques car les exploitations agricoles doivent permettre aux agriculteurs de vivre de leur travail, et aux exigences sociales. Celles-ci concernent aussi les agriculteurs, qui aspirent à une meilleure qualité de vie.

La modification des systèmes de culture est souvent une réponse de l'agriculture à des contraintes exercées par la société, par exemple en zone de captage ou en zone de protection de la biodiversité. Mais c'est aussi une opportunité pour les agriculteurs. Un système de culture qui favorise la biodiversité utile ((auxiliaires, espèces et variétés végétales, vie du sol) et défavorise les bioagresseurs rend l'agriculteur plus autonome en phytosanitaires, engrais et énergie. Le prix des intrants, notamment ceux liés à l'énergie comme le fioul et les engrais azotés, est volatil et risque d'augmenter inexorablement. La disponibilité des intrants, ou leur efficacité, peuvent aussi être remises en cause, en particulier pour les produits phytosanitaires (retrait de substances actives, apparition de résistances...). Un système de culture à bas niveau d'intrants est plus robuste face à ces aléas, et sera probablement plus compétitif à moyen terme. Par ailleurs, l'agriculteur a tout à gagner en termes de santé s'il peut faire des impasses phytosanitaires, puisque c'est le nombre de traitements qui augmente son exposition aux substances actives.

L'intérêt des expérimentations systèmes de culture innovants dans ce contexte

Changer de système de culture est un bouleversement profond et les agriculteurs ont besoin d'accompagnement de la part de leurs conseillers d'une part, et de références locales d'autre part, desquelles s'inspirer pour construire le système qui répondra à leurs attentes. Ce type de références s'acquiert dans des expérimentations système, en imaginant de nouveaux systèmes de culture visant des objectifs précis, et en les évaluant au champ sur le moyen/long terme. Les systèmes de culture conçus cherchent à atteindre des résultats en rupture par rapport aux résultats obtenus par les systèmes de culture actuels, c'est le sens donné ici à l'adjectif « innovant » (objectifs nouveaux, décalés).

Une expérimentation système n'a pas pour objectif de produire un système de culture clé en main pour les agriculteurs. Il n'est pas la réponse aux contraintes actuelles, mais une des réponses, ou pistes de réponses, aux contraintes ou aux aspirations de demain, qu'on ne connaît pas aujourd'hui. L'expérimentation est le lieu où l'agriculteur peut plus facilement prendre des risques à innover, car d'une part il est accompagné, et d'autre part la surface de test est en général peu importante et peut être indemnisée par l'organisme expérimentateur en cas de perte économique significative.

Ces systèmes sont co-construits en groupe et avec l'agriculteur qui les pilotera pendant l'expérimentation. Le groupe de conception se compose de personnes ayant des métiers, des compétences et des regards différents et complémentaires (agriculteurs, chercheurs, conseillers, porteurs d'enjeux...). Les systèmes innovants visent des objectifs décalés par rapport à ceux des systèmes actuels, tout en étant adaptés aux conditions du milieu, au contexte socio-économique local, mais aussi aux attentes spécifiques de l'agriculteur. Dans un premier temps, les membres du groupe de conception partagent leurs connaissances sur les processus impliqués dans les résultats recherchés pour le système de culture (par exemple pour un objectif de faible transfert de phytosanitaires vers la nappe, ils identifient les périodes et les substances à risque, et acquièrent des notions sur la biologie de principaux bioagresseurs et les effets des pratiques culturales sur les cycles de ces bioagresseurs). Ceci leur permet de dresser une liste de « leviers » mobilisables. Ils agencent ensuite ces briques pour construire des prototypes de systèmes. Enfin, ils choisissent un système à tester au champ après évaluation *ex ante* de ses performances, et rédigent des règles de décision qui permettront de piloter le système (par exemple « si la récolte du maïs génère des ornières, alors passer un chisel à l'automne et faire un à trois faux-semis en mars-avril, sinon ne pas travailler le sol à l'automne et traiter au glyphosate 10-15 jours avant le semis du soja »). Il n'est pas possible de simplement suivre des recettes, et c'est la compréhension par l'agriculteur et l'expérimentateur des processus bio-physico-chimiques, couplée à leur surveillance de l'état du peuplement et du sol, qui concourent à la réussite du système. Ils doivent aussi accepter la période plus ou moins longue dédiée aux processus d'apprentissage et d'ajustement du système via des échecs.

La méthodologie de l'expérimentation système est très différente de celle des essais factoriels, et les références pour le conseil qui en sont issues ne sont pas les mêmes non plus : à la notion de prescription descendante, on substitue celle d'aide au raisonnement interactif où le conseiller contribue à apporter des connaissances que l'agriculteur va mobiliser dans son raisonnement. Les raisonnements du type « un problème à résoudre → une innovation technologique », montrent leurs limites quand on vise plusieurs objectifs et

des systèmes plus autonomes. Il faut agir de manière systémique : prendre en compte les effets non intentionnels des choix techniques, considérer les interactions entre techniques, raisonner en intégrant plusieurs échelles et pas de temps, considérer la parcelle agricole comme un écosystème qu'il s'agit de piloter au mieux. C'est une démarche systémique pluriannuelle qui prend en compte les interactions entre les éléments du système et vise la recherche d'un compromis.

Les références issues d'une expérimentation système ne sont donc pas des recettes à appliquer, mais une source de connaissances et d'inspiration pour d'autres agriculteurs ou conseillers : s'inspirer de la démarche de cheminement, s'inspirer d'une idée qu'on détourne, d'une brique du système, d'une technique qui obtient un résultat intéressant, en l'adaptant à son objectif et ses conditions propres... Pour ce faire, deux types de références sont produits :

- Le cheminement vers le système de culture réussi et performant : comment le système a-t-il été construit, pour répondre à quels objectifs, quels échecs ont été rencontrés et quelles réactions face aux échecs ont permis de tendre peu à peu vers la réussite.
- Des combinaisons de techniques éprouvées pour répondre à des objectifs, avec leurs conditions de réussite : leur domaine de validité (état initial de la parcelle, conditions pédo-climatiques, contraintes de l'exploitation...) et les conditions de mise en œuvre (savoir-faire du pilote et indicateurs de surveillance de l'état de l'agrosystème qui permettent de naviguer pour atteindre les résultats attendus).

Une expérimentation système est une ressource qui, outre la production des références, permet :

- De sensibiliser et préparer à l'approche système : le groupe de conception et le comité de pilotage s'approprient la démarche par les échanges entre acteurs de l'agronomie régionale sur le long terme
- Aux différentes parties de mieux comprendre les enjeux et les freins/difficultés des autres parties : par le travail en commun sur le long terme entre porteurs d'enjeux et monde agricole au sens large, les attentes sont explicitées, précisées et traduites en objectifs et contraintes partagés
- Aux conseillers de monter en compétences par le suivi du système en tandem avec l'agriculteur et en collaboration avec d'autres conseillers/chercheurs...
- De communiquer sur la démarche et les résultats : les parcelles expérimentales sont un bon support pour échanger avec des agriculteurs ou conseillers

Les enjeux pour les grandes cultures spécifiques au Piémont haut-rhinois

La parcelle d'expérimentation se situe dans la plaine en Piémont haut-rhinois, sur le ban de Rouffach, entre Mulhouse et Colmar. La qualité de l'eau de la nappe, qui alimente 75% des foyers alsaciens en eau potable, 50% des besoins en eau des industries et la quasi-totalité de l'irrigation est jugée préoccupante, avec de plus fortes concentrations en nitrates (25-50 mg/L) dans le secteur du Piémont en raison d'une épaisseur de nappe plus faible que dans le reste de la Plaine, tandis que les phytosanitaires constituent une menace potentielle certaine.

La monoculture de maïs est pointée du doigt pour le risque de pertes de nitrates qu'elle présente en hiver en sol nu, et pour le risque de lixiviation identifié de certaines substances actives herbicides utilisées sur cette culture (S-métolachlore, bentazone, nicosulfuron, dicamba, ...). Dans la plaine haut-rhinoise (plaine, Ried et Hardt), 65 à 80% des terres labourables sont en maïs irrigué (2010) et la monoculture était très répandue en 2008, lors de la conception du système.

Par ailleurs, la chrysomèle, ravageur du maïs, est apparue en Alsace en 2003, avec un premier foyer, puis chaque année depuis 2006. Elle constitue une menace forte pour les rendements (pertes pouvant aller jusqu'à 80% pour 10 larves par pied) et la monoculture de maïs favorise le cycle de l'insecte et son maintien dans les parcelles.

L'expérimentation a été mise en place à la campagne 2009 pour tester une alternative à la monoculture de maïs grain, sur la base d'un système de culture qui présenterait a priori moins de risque pour la qualité de la nappe, et serait plus robuste face à l'avancée de la chrysomèle. Par ailleurs, le maïs irrigué est connu comme très fortement consommateur d'énergie fossile et a une mauvaise image auprès du public dans les zones de monoculture irriguée.

Définitions extraites du guide de description des systèmes de culture du RMT
Systèmes de culture innovants (Schaub et al., 2016) :

Le système de culture (sdc) est décrit par ses 3 composantes complémentaires et indissociables :

- **la composante biophysique du sdc** : est l'ensemble (1) des mécanismes/processus qui relie le sol, climat, peuplement cultivé et bioagresseurs sous l'effet des interventions culturelles, ainsi que (2) des états de l'agroécosystème qui résultent de ces processus.

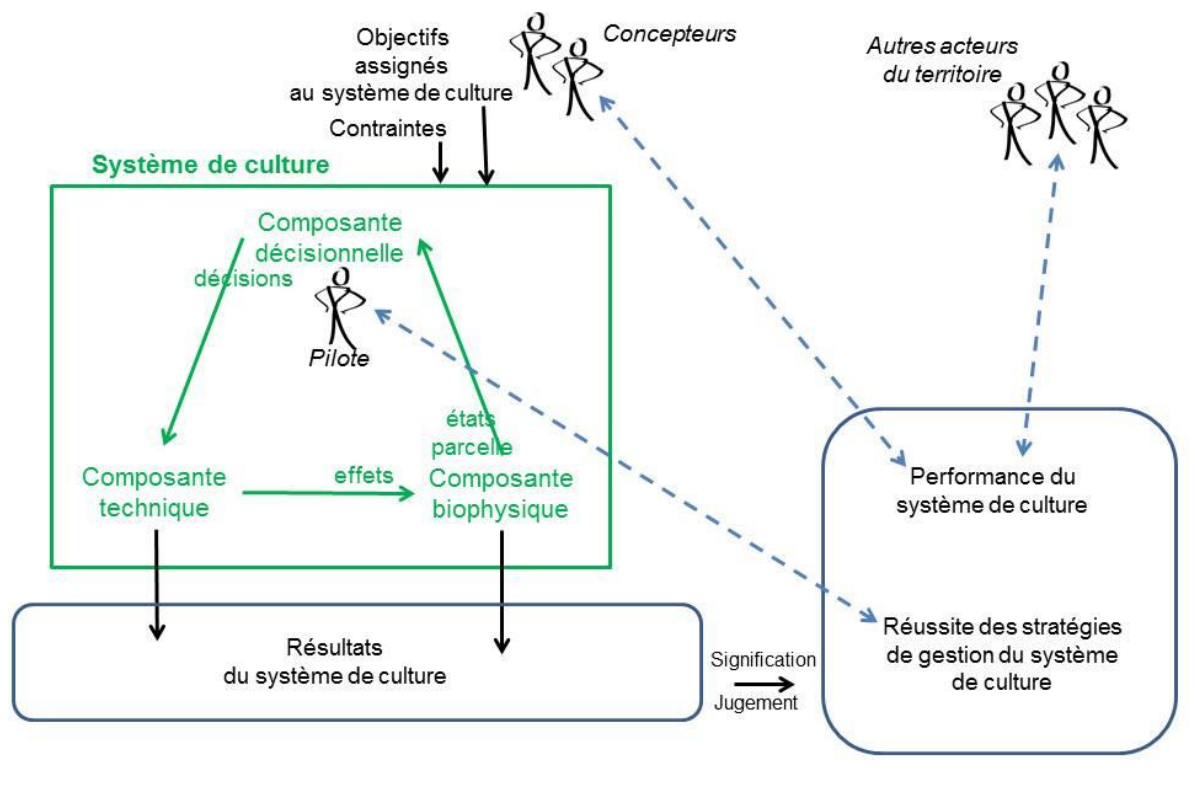
→ L'état de la composante biophysique du sdc est le résultat des effets des interventions culturelles en interaction avec le climat et les pressions biotiques dans la parcelle cultivée, elles-mêmes découlant des décisions prises par le ou les pilotes des cultures.

- **la composante décisionnelle du sdc** : est la logique stratégique du pilote du sdc. Elle peut être formalisée sous forme d'un ensemble de stratégies de gestion. Une stratégie est l'ensemble des solutions potentiellement mobilisés (moyens) par le pilote pour atteindre les résultats qu'il attend (but). POUR QUOI et COMMENT le pilote prévoit de gérer les interventions culturelles ?

→ La composante décisionnelle conduit à des décisions d'interventions à l'origine du système de culture technique ; elle prend en compte les états du champ cultivé pour les décisions qui sont raisonnées tactiquement par observation.

- **la composante technique du sdc** : est l'ensemble des solutions effectivement mises en œuvre, décrite par la chronologie des interventions culturelles, soit sous forme d'interventions réalisées dans un contexte précis (dans chaque parcelle expérimentale et au cours de plusieurs campagnes), soit sous forme de synthèse des pratiques culturelles (pluriannuelle et multiparcellaire par culture de la succession). COMMENT j'ai fait.

→ La composante technique est le résultat de l'application des décisions et agit sur la composante biophysique du sdc.



CONCEPTION DU SYSTEME DE CULTURE

Contexte biophysique

Contexte pédo-climatique :

Météorologie	Type de sol	Comportement du sol
<p>Climat semi-continentale. Hiver froid (Temp moyenne 0,8°C en janvier) et sec. Printemps humide (orages) et été chaud (19°C en juillet). Précipitations moyennes de 630 mm/an. ETP 880 mm/an.</p> <p>Amplitudes thermiques importantes qui peuvent empêcher des traitements herbicides au printemps.</p> <p>Risque élevé d'échaudage du blé (températures maximales supérieures à 27°C pendant 3 jours consécutifs en juin).</p>	<p>Sol limono-argilo-sableux (26% d'argile, 41% limons, 32% sables), calcique à calcaire, profond, hydromorphe (H2-H31) sur alluvions de rivière vosgienne (fluviosol hydromorphe).</p> <p>pH eau : 7,5. MO : 1,8%</p> <p>Peu de cailloux en surface (1,7%), plus de 50% de cailloux à partir de 55 cm ou 80 cm selon les zones de la parcelle.</p>	<p>Vitesse de ressuyage moyenne à lente (3 à 5 jours), lente sur 5-10 cm, empêche un accès précoce au printemps.</p> <p>Risque de lissage de la raie de semis.</p> <p>Réserve utile : 90-125 mm. Nappe à 3 m de profondeur, pas de restriction d'irrigation. Cultures d'été toujours irriguées. Blé en général aussi, pour valoriser les apports d'engrais N ou pour alimenter la culture en eau en printemps sec.</p>

Contexte biotique :

	Bioagresseurs fréquents dans le secteur	Bioagresseurs spécifiques de la parcelle
Adventices	Liseron des champs, chénopode, graminées estivales (panic, sétaire)	
Maladies	fusariose (maïs, blé), septoriose (blé)	
Ravageurs	Pyrale (maïs), taupin (maïs) zone focus chrysomèle en 2011 (maïs)	Sangliers, lièvres, limaces

La pression pyrale est élevée dans ce secteur (un seul vol). Le sol, froid, favorise les dégâts de taupin sur maïs. En 2009, des chrysomèles (insectes de quarantaine) ont été piégées à 1 km de la parcelle, entraînant la mise en place du dispositif réglementaire « zone focus chrysomèle », avec obligation de rotation des cultures et lutte chimique contre les larves et les adultes. Aujourd'hui, l'Alsace étant sortie de la zone de confinement réglementaire, il n'y a plus d'obligation de lutte contre ce ravageur du maïs.

Les limaces peuvent occasionner des pertes importantes en cas de printemps humide et de pratiques laissant des résidus en surface (non labour).

L'essai étant proche d'une forêt, des dégâts de lièvres et de sangliers, voire de faisans et de corbeaux, sont régulièrement observés sur les parcelles. Les parcelles d'essai sont protégées contre les sangliers par une clôture électrique.

Les adventices sont les bioagresseurs les plus problématiques sur la parcelle. En raison de l'historique de la parcelle (plus de 10 ans de cultures de printemps), la principale flore adventice est une flore d'été qui se compose de dicotylédones (chénopodes blancs, mercuriales, morelles...), de graminées estivales (panics pied de coq, sétaires) et de vivaces (liserons des haies). En raison du stock semencier important, les levées se produisent souvent de manière échelonnée, dès que les conditions météo sont favorables, et génèrent des difficultés de désherbage en post-levée.

Le potentiel de rendement du secteur est de 90 q de blé, 35 q de soja et 130 q de maïs. Les rendements se situent fréquemment dans une fourchette de 75 à 85 q de blé et 100 à 120 q de maïs.

Contexte socio-économique

La filière maïs est reine en Alsace. Le maïs y couvre 56% des terres labourables, et il est à 92% cultivé pour le grain. Le maïs grain est à 75% destiné à l'alimentation humaine (amidonnerie et semoulerie, avec plus de la moitié transformée en Alsace). Le maïs grain est expédié à l'export par le Rhin.

Les principales autres filières grandes cultures du Haut-Rhin sont le blé tendre d'hiver et le soja pour l'alimentation humaine.

La SAU des exploitations est faible par rapport à la moyenne nationale (60 ha en moyenne pour les grandes exploitations¹ ; 39 ha de moyenne en grande culture).

La taille des parcelles est faible par rapport à la moyenne nationale (1 ha dans le secteur de Rouffach, hors viticulture).

On y trouve davantage de pluriactivité et de diversification que la moyenne nationale (dans le secteur de Rouffach, seulement 15 à 25% d'UTA des chefs d'exploitation sont exclusifs).

L'exploitation agricole accueillant l'expérimentation est la ferme du lycée agricole de Rouffach, en polyculture élevage (volailles de chair bio en vente directe, taurillons), dont la SAU est de 68 ha.

Groupe de conception

Un groupe de conception associant agriculteurs, développement (Chambre d'Agriculture), coopératives (Comptoir Agricole de Hochfelden, Coopérative Agricole des Céréales), transfert (Arvalis, ARAA), recherche (INRA), enseignement agricole a défini les enjeux prioritaires à traiter et les objectifs que le système doit atteindre. Le groupe a ensuite partagé les connaissances sur les processus impliqués dans la réalisation des objectifs, imaginé différents prototypes, les a évalué ex ante, puis sélectionné celui qui répondait a priori le mieux aux objectifs.

¹ Dimension économique d'une exploitation : une exploitation est dite « grande » quand sa production brute standard est supérieure ou égale à 100 000 euros.

Objectifs assignés au système de culture

Les enjeux identifiés par le groupe de conception sont : la pérennité économique des exploitations, la qualité de vie des agriculteurs, la fertilité des sols agricoles, la qualité des eaux de la nappe vis-à-vis des produits phytosanitaires et des nitrates, les ressources d'énergie fossile.

Le groupe avait comme instruction de réfléchir à des systèmes de culture alternatifs à la monoculture de maïs, conduite de façon classique pour le secteur, c'est-à-dire irriguée et labourée chaque année. Les objectifs ont été essentiellement définis par rapport à ce système de référence, prévu d'être également testé en parallèle du système innovant.

Objectifs assignés au système par le groupe de conception :

- Performance économique : Marge Semi Nette \geq celle du système de culture de Référence Monoculture de maïs,
- Performance sociale : au moins 8 semaines de temps libre par an
- Performance environnementale : pertes de nitrates \leq 70 % de celles du système de Référence
- Performance environnementale : I-phy \geq I-phy du système de Référence +1
- Performance environnementale : IFT système \leq 1,5 sans comptabiliser le traitement de semences (soit 50% de l'IFT grandes cultures de référence Alsace)
- Performance environnementale : Consommation énergétique directe et indirecte \leq 80 % de celle du système de Référence
- Performance agronomique : évolution favorable de la structure du sol au fil du temps, appréciée par des observations régulières et par des profils culturaux

Résultats attendus par le pilote du système

- Maïs : maximum 5 q de moins que le système de Référence, Soja \geq 32 q, Blé \geq 80 q
- Pas de risque de salissement à long terme par des adventices
- Dommages de rendement tolérés si la marge n'est pas impactée
- Structure après récolte correcte (pas d'ornières)
- Structure correcte au semis permettant une levée la plus complète possible, homogène en termes de stades
- Cipan \geq 3 t MS/ha, en tant qu'indicateur (1) de piégeage efficace des nitrates et (2) d'apport de matière organique pour la vie du sol
- Taux de mycotoxines blé et maïs conformes aux limites réglementaires

➔ Pour les résultats attendus détaillés, cf. schémas décisionnels.

Principes de conception du système de culture

Le maïs, culture la plus rentable dans la région, est conservée. Le soja est introduit car son prix est attractif (usine de transformation en alimentation humaine à proximité) et parce que c'est une légumineuse qui introduit de la diversité botanique et de l'azote gratuit. Le blé est la culture d'hiver la plus rentable parmi celles qui peuvent rompre le cycle des adventices de printemps. Il est aussi 2 à 3 fois moins irrigué qu'un maïs, donc moins énergivore.

Le choix du non labour vise plusieurs objectifs : réduction du temps de travail, amélioration de la vie du sol, réduction de l'énergie par rapport à un système labouré chaque année.

Le blé a été placé après la légumineuse pour limiter les fuites de nitrates au printemps suivant et pour éviter le risque mycotoxines lié au non labour et à un précédent maïs grain.

En fin d'expérimentation, le système mis au point suit les principes suivants :

Rotation	Cipan, Maïs – Soja – Blé hiver
Stratégies principales	Rotation irriguée avec des légumineuses et des cultures ayant des besoins en irrigation réduits, diversité des familles et des dates de semis, pas de blé de maïs, culture d'hiver après la légumineuse, couvert en mélange avec légumineuse en interculture longue, non labour
Maïs grain	Strip-till, variété dentée avec une bonne vigueur de départ, herbicide racinaire en localisé sur le rang au semis, trichogrammes.
Soja alimentation humaine	Semis direct ou faux-semis selon conditions, semis à écartement faible, pas d'herbicide de prélevée, désherbage mécanique, variété imposée par l'acheteur
Blé hiver panifiable	Variété barbue peu sensible aux maladies foliaires et à la verse, moyennement sensible à la fusariose, semis direct, pas d'herbicide à l'automne, pas de régulateur. Pailles restituées si possible. Semis direct d'un couvert juste après récolte (si pas de liseron) sinon traitement liseron et semis d'une moutarde fin août.

Ce système a été affiné au cours du test au champ et certaines options ont été abandonnées, comme le choix d'une variété plus précoce de maïs ou le sous-semis de couvert dans le maïs (cf. partie « enseignements »), et d'autres introduites (strip-till).

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Type de dispositif

Début : 2009

Fin : 2016

Répétitions :

Le système innovant est conduit sur 3 parcelles (RI1, RI2, RI3 sur le plan). Ainsi, tous les termes de la rotation sont présents chaque année.

Système de Référence :

Un système de référence est conduit en parallèle (parcelle RR sur le plan), en monoculture de maïs grain irriguée labourée.

Aménagements et éléments paysagers : forêt à 300 m.



Mesures et observations

La parcelle est régulièrement observée de façon qualitative (présence et dégâts de bioagresseurs, état du peuplement cultivé, état du sol) et de façon quantitative à certains moments clé pour la culture notamment la levée et la récolte (rendement, composantes du rendement...).

Des mesures sur le sol (mesures tensiométriques et reliquats azotés plusieurs fois par an, profils culturaux et analyses de terre tous les 3 à 6 ans), les cultures et couverts d'interculture (biomasse, azote absorbé, à chaque culture), la pluviométrie sont réalisées. A l'état initial plusieurs profils pédologiques ont été réalisés.

Les interventions culturales sont enregistrées.

La parcelle est équipée de bougies poreuses à tête de céramique à 1 mètre de profondeur (7 bougies par parcelle, soient 28 bougies) qui recueillent l'eau tous les 15 jours entre octobre

et juin. Les nitrates sont analysés dans les lixiviats de chaque échantillon et pris en compte uniquement pour les échantillons prélevés en période de drainage, calculée a posteriori par un bilan hydrique. Les substances actives appliquées sur la parcelle dans la campagne ou les années précédentes sont analysées dans un regroupement de lixiviats quand le volume recueilli est suffisant pour une analyse. Au regard des avantages et des inconvénients de chacun des matériaux pour l'analyse des substances actives, le choix de la céramique apparaît comme un compromis acceptable du fait des cinétiques d'adsorption/désorption moyennes (Martin, 2016).

Organisation du partenariat

Pilotage du système : un technicien de l'INRA décide des interventions, après discussion avec le technicien de l'ARAA et le chef de culture du lycée, selon les observations faites dans les parcelles et les règles de décision préétablies. Le chef de culture pratique les interventions culturales, avec l'appui du pilote du système pour certains réglages.

Evaluation agronomique : observations, mesures des états du sol et des cultures par les techniciens de l'INRA et de l'ARAA. Diagnostic agronomique en groupe INRA-ARAA.

Evaluation socio-économique et environnementale : mesures (notamment teneurs en nitrates et substances actives recueillies par bougies poreuses à 1 m de profondeur) par l'ARAA et l'INRA.

Pilotage de l'essai : par l'ARAA avec l'appui du comité de pilotage.

Le comité de pilotage réunit agriculteurs, développement (Chambre d'agriculture d'Alsace : conseillers du service Filières végétales, Ingénieurs Réseaux DéphyFERMES), coopératives (CAC, CAH), transfert (Arvalis, Terres Inovia, ARAA), recherche (INRA Equipe AD INRA Colmar), enseignement agricole (lycée agricole Rouffach) et porteurs d'enjeux (Agence de l'Eau Rhin-Meuse). Ce comité discute des résultats de l'expérimentation campagne après campagne et réoriente les stratégies quand nécessaire.

Le comité de pilotage est le même que le groupe de conception (mêmes personnes mais avec des missions différentes). Au fil du temps, le comité de pilotage s'est élargi.

Financement : Agence de l'Eau Rhin-Meuse, la Région Grand-Est et le FEADER.

Interaction avec des réseaux d'expérimentations système : Réseau Mixte technologique Systèmes de culture innovants, DéphyEXPE Protection intégrée en Grandes cultures.

COMPOSANTE DECISIONNELLE DU SYSTEME DE CULTURE

C'est la logique stratégique du pilote du système de culture (celui qui prend la décision d'intervenir au champ). Elle peut être formalisée sous forme d'un ensemble de stratégies de gestion. Nous formalisons une stratégie par un « schéma décisionnel » en arête de poisson, la tête du poisson étant constituée des résultats qu'attend le pilote de son champ cultivé (POUR QUOI), et les arêtes du poisson portant les solutions (COMMENT) classées par mode d'action biophysique de l'intervention.

→ Systématique
 - - - - -> Non systématique

Stratégie de maîtrise des adventices

Panic, sétaire, graminée,
 chénopode, liseron,
 chardon

Rotation avec 2 périodes de semis

Action sur le stock semencier

Si pas de liseron à récolte du blé
 => implantation précoce de la CI
 pour couvrir (éviter des
 adventices qui monteraient à
 graine)

Si travail du sol à automne (carronières)
 => faux semis au printemps au vibro (1 à 3 passages).
 1^{er} faux semis, vers 15/3 dès que le sol est ressuyé
 Puis lorsque des adventices sont au stade fil blanc

Lutte physique

Espèces de CI gélives à -8°C

Si présence d'adventices sortie
 hiver, passage de herse à grille
 ou houe rotative



Lutte chimique

Si liseron => récolte du blé haut
 et destruction du liseron vers
 20/8 au glypho. Puis semis de CI
 en direct ou à la volée pour ne
 pas toucher les rhizomes et
 assurer l'efficacité du glypho

Destruction adventices et CI
 3 semaines avant le semis du
 maïs au glypho, dose en
 fonction des espèces et
 stades des adventices

Traitement sur le rang en pré-
 levée (AD+AG), au semis, sur
 largeur travaillée au strip-till
 AG + AD post levée,
 en plein

Si pas de travail du sol à automne
 => glypho 10-15 jours avant
 semis, dose en fonction des
 adventices présentes et de leur
 stade

Pas de racinaire de
 pré-levée
 Antiliseron si
 nécessaire

Post-levée, en 2 fois, (2/3
 puis 1/3 à 10j d'intervalle)
 1^{er} passage, avec le soja à
 2-3 feuilles
 Antiliseron si
 nécessaire

Pas de traitement
 d'automne

Antiliseron entre 2
 nœuds et gonflement
 si besoin

Atténuation

Semis à écartement réduit
 17 cm pour couvrir

Évitement

CI gélives pour
 qu'elles ne
 repoussent pas
 dans le maïs

Couvert conservé jusqu'à
 fin mars pour couvrir
 Semis en sol propre (glypho)

Semis en sol propre
 (Glypho si SD, vibro puis HR-
 semoir sinon)

Pas de dommage de
 rendement dû aux
 adventices.
 Pas de salissement à
 long terme.

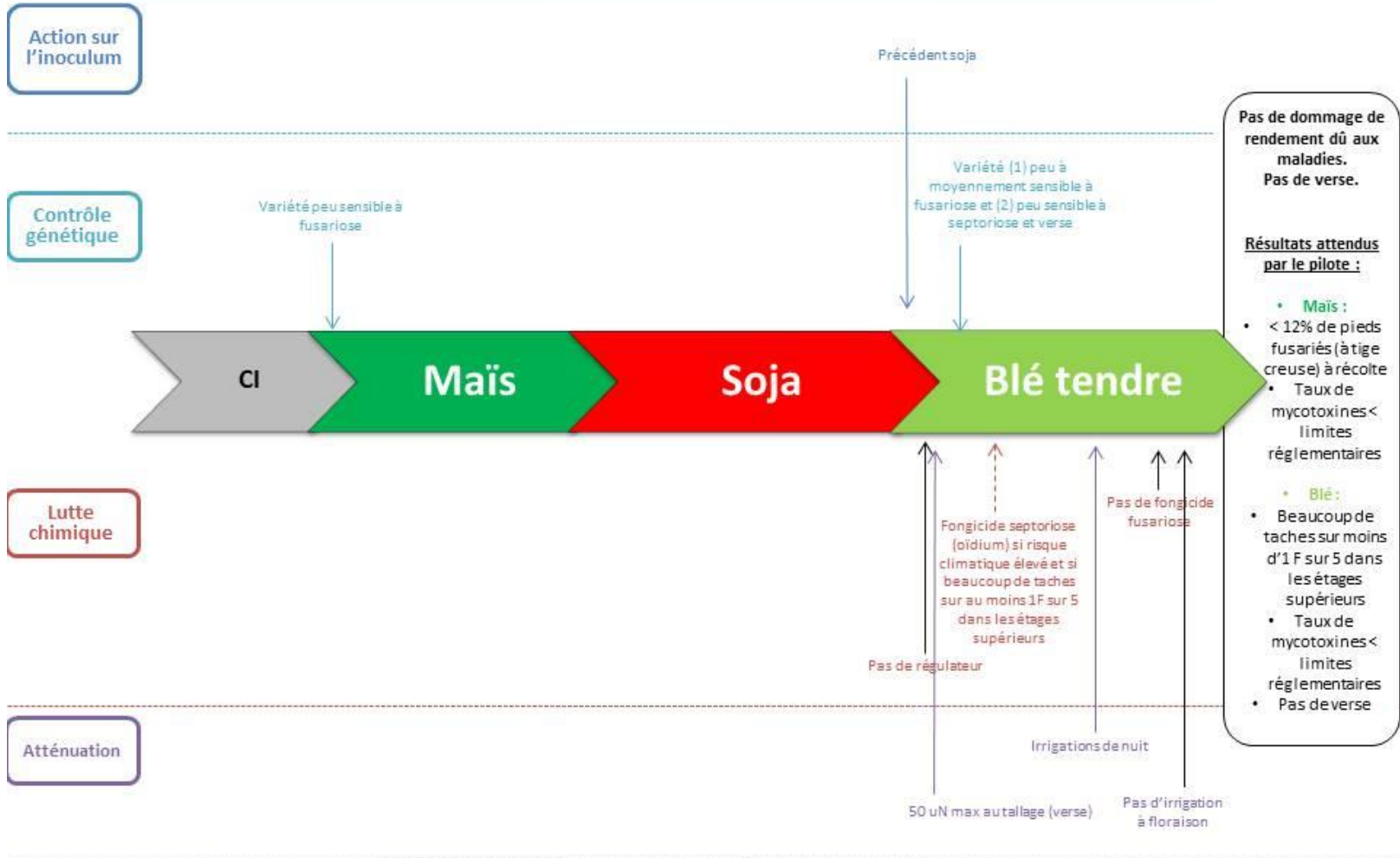
Résultats attendus par le pilote :

- **Maïs :**
 - Pas d'adventices très développées à 2/3F du maïs (<0,25 chéno/m²)
- **Soja :**
 - Peu d'adventices qui dépassent à récolte (<0,1/m²)
- **Blé :**
 - Peu de dicots qui dépassent à récolte (<0,1/m²)
- **Liseron :**
 - Peu à la récolte de toutes les cultures (<0,02 liseron/m²)
 - Absence de liseron fin août après blé

→ Systématique
- - - - -> Non systématique

Stratégie de maîtrise des maladies et de la verse

Blé : septoriose, fusariose
Maïs : fusariose du pied (tige creuse)



[Texte]

→ Systématique
- - - - -> Non systématique

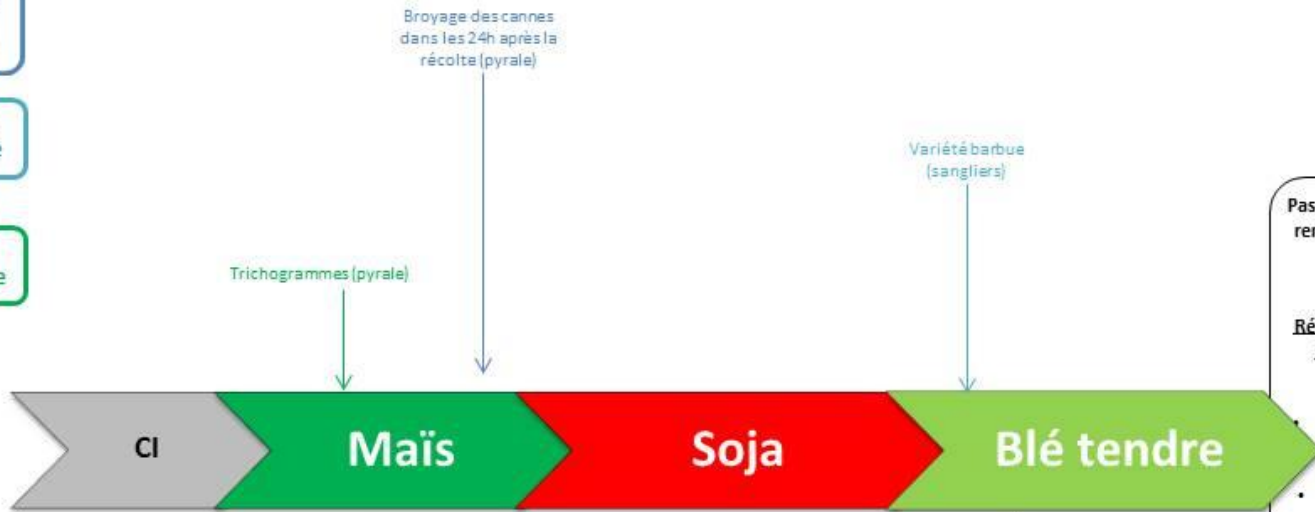
Stratégie de maîtrise des ravageurs

Maïs : taupins, oscinies, pyrale, corbeaux, faisans
Blé : puceron
Toutes cultures : limaces, sangliers, lièvres

Action sur le stock ravageur

Contrôle génétique

Lutte biologique



Lutte chimique

Evitement

Pas de dommage de rendement dû aux ravageurs.

Résultats attendus par le pilote :

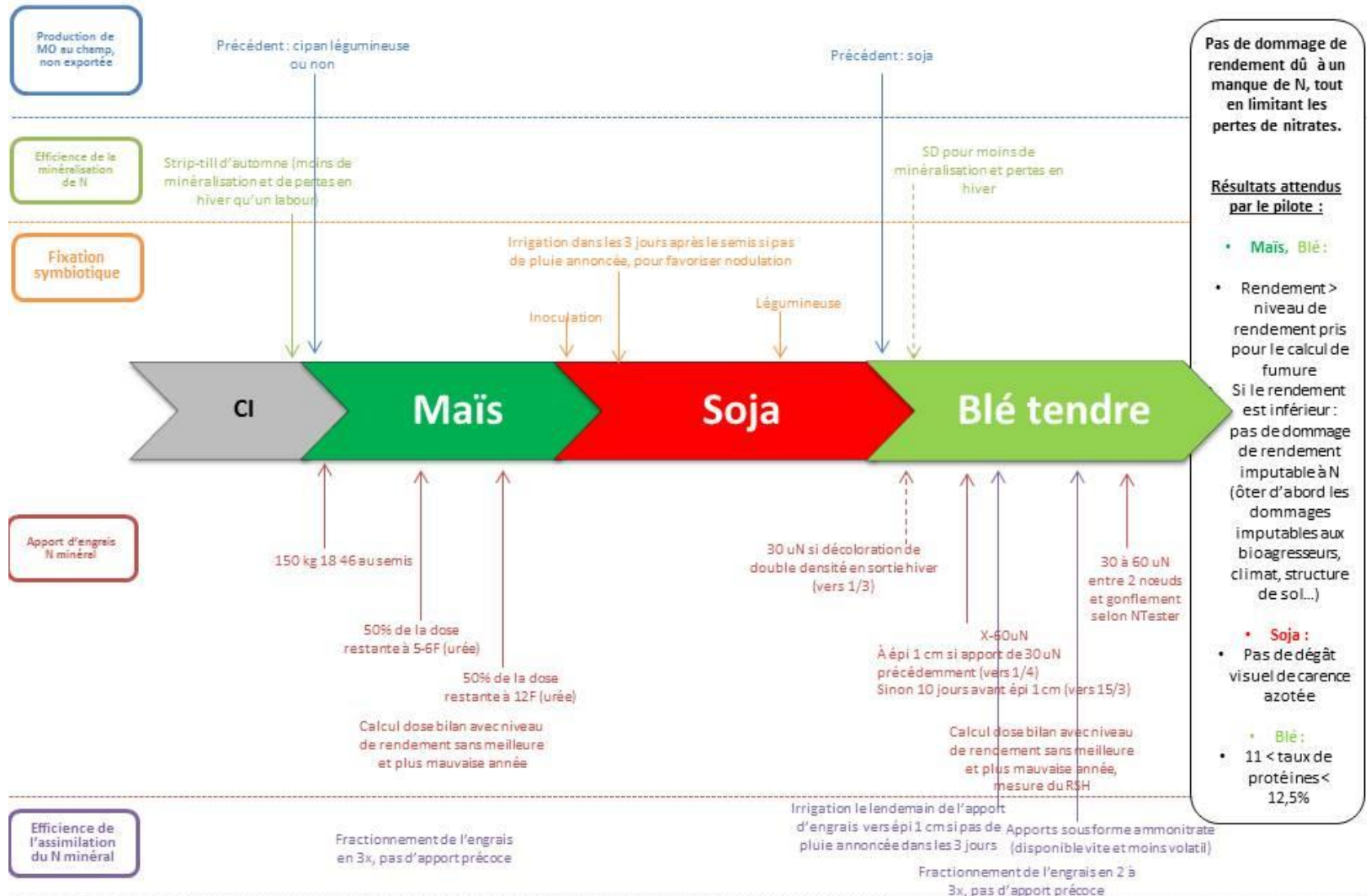
- Maïs :
 - < 5% de pertes de pieds dues aux taupins
 - < 5% de pieds attaqués par limaces (attaqué=au moins 30% de parties aériennes touchées)
 - < 5% pieds pyralés sous l'épi

[Texte]

→ Systématique
 ----> Non systématique

Stratégie de maîtrise de l'alimentation en N

Zone vulnérable



COMPOSANTE TECHNIQUE DU SYSTEME DE CULTURE

C'est l'ensemble des solutions effectivement mises en œuvre par le pilote du système : COMMENT j'ai fait. La composante technique est le résultat de l'application des décisions.

On la décrit par la chronologie des interventions culturelles et les rendements réalisés :

- soit sous forme des « **pratiques réalisées** » : interventions réalisées dans un contexte précis (dans chaque parcelle expérimentale et au cours de toutes les campagnes). Cette façon de faire est intéressante pour mettre en correspondance les pratiques et les résultats agronomiques observés dans les parcelles.

- soit sous forme de « **synthèse des pratiques** » **culturelles** : pluriannuelle et multiparcellaire par culture de la succession. Les dates correspondent aux dates médianes des pratiques réelles enregistrées, les quantités sont issues de moyennes des pratiques réelles enregistrées. Les fréquences permettent de prendre en compte la variabilité inter-annuelle. Les médianes, moyennes et fréquences des pratiques réelles enregistrées peuvent être modifiées à la marge par expertise de l'expérimentateur et de l'agriculteur pour refléter la réalité du contexte ou corriger des biais expérimentaux. Cette façon de faire à l'intérêt de présenter un système de culture plus représentatif des résultats d'une future mise en œuvre.

Nous avons calculé les performances du système à partir de la synthèse des pratiques. Elle a été réalisée à partir des rendements et des opérations culturelles réelles dans les 3 parcelles sur les 3 campagnes 2013 à 2015, une fois le système de culture stabilisé après 4 campagnes d'amélioration progressive des stratégies (et changement de chef d'exploitation entre les 2 périodes).

Les irrigations ne prennent pas en compte la campagne 2015 (ETP exceptionnelles). Elles prennent en compte les 6 campagnes 2009-2014 (irrigation mal maîtrisée en 2013 et 2014 par manque de matériel disponible aux stades sensibles).

Le rendement du soja a été corrigé : l'attaque de lièvre doublée d'un problème de désherbage (efficacité du traitement quasi nulle due à l'utilisation d'un bidon entamé depuis plus d'une campagne et/ou de conditions non optimales) qui a eu lieu une fois sur les 3 ans, a été fixée dans la synthèse avec une fréquence d'une année sur 6 au lieu d'une année sur 3.

Lecture du tableau : sachant que le maïs est implanté tous les 3 ans, « 1x/2 » dans la colonne maïs signifie une fois sur 2 pour chaque maïs, donc une année sur 6.

Système Innovant :

Cultures	<i>Maïs</i>	<i>Soja</i>	<i>Blé</i>
Interventions			
Interculture précédente	27/7 : SD Séméato cipan (17 kg vesce printemps, 2,5 kg phacélie, 3 kg tournesol) 30/7 : broyage des chénopodes (1x/6) 13/12 : broyage de la cipan (1 maïs/2, selon biomasse de cipan et effet du gel)	7/11 : broyage des cannes	
Travail du sol Faux semis	15/12 : strip-till 18 cm 3/04 : strip-till rotatif (1 x/7 : si pas gel en hiver et sec au printemps et structure très dure)	13/12 : chisel (1 x/2 si option travail du sol) 18/4 : vibro (1 x2 si option travail du sol) 8/5 : vibro (1 x/2 si option travail du sol)	21/10 : houe rotative (1 x/5 : pour niveler et répartir les résidus de soja)
Semis et variété	14/04 : semis semoir monograine DKC 4408 93 000 grains/ha	10/5 : semis semoir Séméato Primus 650 000 grain/ha + inoculum ; écartement 17 cm	28/10 : SD semoir Séméato Arezzo 395 grains/m2 (pmg 48 g).
Lutte / adventices	21/03 : glypho 5L 14/04 : camix 3L + Lagon 0,5L sur le rang (45% de la surface pour 1x/7 et 35% sinon selon largeur travaillée) 11/6 : Nisshin 0,4L + Callisto 0,4L (1x/2) 11/6 : Nisshin 0,7L + Callisto 0,7L + Banvel 0,3 L (1x/2) 9/7 : Cursus 60 g + Banvel 0,2 L + Starane Gold 0,6 L à	25/4 : glypho 2L (1 x/2 si option SD) 13/5 : Pulsar 0,8L 26/6 : Pulsar 0,45 L 26/6 : Ambition 0,6l/ha (1 x/2)	15/5 : Tomigan 1L (1 blé/2)

	enjambeur (1 x/7)		
Lutte / maladies			21/5 : Nébraska (anti fusa et septo) 1L (1x/2)
Lutte / insectes	14/4 : Force 1,5G 12 kg au semis (2 maïs/3 : risque taupin dans parcelles 2 et 3) 30/5 : sluxx 7 kg (1 x/6 si pression limaces) 18/6 : trichogrammes	10/5 : sluxx 4 kg au semis (1x/6)	28/10 : sluxx 7 kg (1 blé/6 si pression limaces)
Fertilisation	14/04 : 150 kg 18 46 localisé au semis 16/04 : 200 kg KCl (1 maïs/2) 29/05 : 160 kg urée stade 6-7 F 16/6 : 135 kg urée stade xxx	16/4 : 200 kg KCl (1 soja/2)	15/3 : 300 kg sulfamo 27 (81 uN, 48 uSO3) (1 blé/2) 26/3 : 300 kg ammo 27 9/5 : 180 kg ammo 27 (1 blé/2 si N-tester le conseil)
Irrigation	15/04 : 20 mm (1 maïs/2 si sec au semis pour structure du sol et efficacité désherbage racinaire) 26/6 : 33 mm 14/7 : 33 mm 12/8 : 34 mm	7/5 : 10 mm (1 soja/2 si sol sec pour structure du sol et nodulation) 26/6 : 28 mm 14/7 : 28 mm 12/8 : 29 mm	2/4 : 34 mm 15/4 : 35 mm
Récolte/ export des résidus	Cipan 2,9 t MS (retour au sol) (1,6-3,6 t) 30/10 : récolte 109 q (107,5-112) à 26% humidité (23-32%), broyage sous bec, cannes restituées.	6/10 : 33 q (5x/6) en alimentation humaine 6/10 : 15 q (1x/6 si attaque de lièvres) en alimentation animale Résidus restitués.	17/07 : récolte blé 76 q (69-81 q) 18/7 : Pailles exportées (6 t)

RESULTATS AGRONOMIQUES ET REUSSITE DU SYSTEME SELON SON PILOTE

Le tableau suivant récapitule les principaux résultats obtenus et la satisfaction du pilote du système (vert : satisfait, rouge : insatisfait ; orange : intermédiaire).

	Parcelle	2010	2011	2012	2013	2014	2015	En pluriannuel
Maîtrise adventices	1	Soja	Blé	Maïs : Concurrence pour eau dans interrang jusqu'au 1 ^{er} binage.	Soja : Panics développés (trop au moment du traitement).	Blé : Rumex et laiterons.	Maïs : Panics et laiterons (hygrométrie pas suffisante au moment du traitement).	
	2	Blé	Maïs : Mercuriales.	Soja	Blé : Ray-grass et bromes. Apparition de chardon.	Maïs	Soja : Renouées persicaires (levées tardivement en août).	
	3	Maïs : Chénopodes (manque de recouvrement entre rang traité et interrang biné).	Soja	Blé	Maïs : Panics avancés (stades et mauvaise hygrométrie au moment des traitements).	Soja : Chénopodes et graminées notamment amarantes (pas d'efficacité des traitements).	Blé : Laiteron, graminées (stades avancés et mauvaise hygrométrie au moment du traitement).	
Maîtrise ravageurs	1	Soja	Blé	Maïs	Soja	Blé	Maïs : Limaces au démarrage du maïs (printemps très humide problématique en non labour).	
	2	Blé	Maïs : Pyrale	Soja	Blé	Maïs	Soja	
	3	Maïs : Pyrale (biais	Soja	Blé : Sangliers.	Maïs : Limaces, taupins.	Soja : Lièvres.	Blé	

Parcelle		2010	2011	2012	2013	2014	2015	En pluriannuel
		expérimental car zone focus chrysome).)						
Maîtrise maladies	1	Soja	Blé : Epis fusariés.	Maïs : Pieds fusariés (effet variété).	Soja	Blé	Maïs :	
	2	Blé	Maïs : Pieds fusariés car pyrales.	Soja	Blé	Maïs : Pieds fusariés (effet année et variété).	Soja	
	3	Maïs : Epis fusariés (car pyrale)	Soja	Blé	Maïs	Soja	Blé	
Maîtrise verse	1	Soja	Blé	Maïs	Soja	Blé	Maïs	
	2	Blé	Maïs	Soja	Blé	Maïs	Soja	
	3	Maïs	Soja	Blé	Maïs	Soja	Blé	
Structure du sol	1	Soja	Blé	Maïs	Soja	Blé	Ornières à récolte du blé. Lit de semences creux avec des manques à la levée du maïs (passage strip-tille en conditions humides).	
	2	Blé	Maïs	Soja	Blé	Maïs	Soja	
	3	Maïs	Soja	Blé	Tassement à la récolte du blé.. Maïs : Strip-till en janvier en conditions limites.	Soja	Blé	
Couvert après blé, avant maïs	1	/	/	Cipan après blé pailles restituées : chaud, puis limaces.	/	/	Cipan après blé pailles exportées : 3,6 t MS	
	2	/	Cipan après	/	/	Cipan après blé	/	

Parcelle		2010	2011	2012	2013	2014	2015	En pluriannuel
			blé pailles restituées : limaces.			pailles exportées : 1,6 t MS		
	3	Cipan après blé pailles exportées : 1,9 t MS.	/	/	Cipan après blé pailles exportées : 3,4 t MS.	/	/	
Rendement	1	Soja : 36 q	Blé : 62 q Manque d'eau de N en mars avril (régressions de talles) puis d'eau en juin (faible PMG).	Maïs : 118 q	Soja : 30 q Dommage de rdt : 3 q car irrigation trop tard et 2 q car désherbage pas assez tôt	Blé : 78 q 15% de dommage dû à échaudage début juin Bonne alimentation en eau pour la 1 ^{ère} fois	Maïs : 112 q	Maïs : bon Soja : moyen Blé : mauvais Le mauvais rdt de blé est dû essentiellement à un manque de disponibilité pour irriguer au bon moment en mars, avril, mai. Soja : un accident, les autres rendements sont corrects.
	2	Blé : 71 q Manque de N et d'eau en mars et avril (nb grain faible)	Maïs : 121 q	Soja : 31,5 q Mauvaises conditions de récolte (8-10% de grains restent à terre)	Blé : 69 q Dommage de rdt de 12-15 q par échaudage aggravé par déficit hydrique mi-juin.	Maïs : 108,5 q	Soja : 37 q	
	3	Maïs : 84 q (compter 95 q car pyrale est un biais expérimental de la zone focus). Causes : chénopodes et pyrale.	Soja : 28,5 q Températures basses début juillet : moins de gousses. Manque d'eau fin août (peur verse)	Blé : 72 q Manque d'eau en mai, dommage de rdt de 8 q. Dommage de 5 q par sangliers. Réussite par rapport au gel : Arlequin une des rares variétés à ne pas avoir été retournée. Dommage estimé à 10%	Maïs : 107,5 q Manque d'eau début juillet 8-10 q Limaces : 5 q	Soja : 15 q Dommages de rdt : lièvres, adventices	Blé : 75 q	

	Parcelle	2010	2011	2012	2013	2014	2015	En pluriannuel
				dû au gel (uniquement les pieds semés à 1,5 cm de profondeur).				
Qualité	1	43% protéines soja 19,6% huile soja	Mycotoxines blé OK 10% protéines	Mycotoxines maïs OK 22,5% humidité (Réf : 25,6%)		Mycotoxines blé OK 16,7% protéines : dose de N trop forte de 65 u ; le 1 ^{er} apport au 15/3 notamment est trop élevé (80 u).	Maïs : myco ? Humidité 23,4%	Protéines blé : on est soit trop faible soit trop élevé. Mycotoxines blé : OK Mycotoxines maïs : dépassent parfois les limites, selon les conditions climatiques et la variété. Etre plus vigilant dans le choix de la variété. Soja, une année catastrophique.
	2	Mycotoxines blé OK 11% protéines PS 78,3	DON maïs > régl Zea maïs OK 22,2% humidité (Réf : 21,8%)		Mycotoxines blé OK 14,8% de protéines PS : 78,5	DON maïs > régl Zea maïs > régl (sensibilité variétale à fusariose) 23,2 % humidité (Réf : 23,1%)	Soja : des impuretés 4%	
	3	DON maïs > régl Zea maïs OK 29,6% humidité (année tardive)	43% protéines soja 18% huile soja	Mycotoxines blé OK 11,3% de protéines PS 74,6	Mycotoxines maïs OK 32% humidité (30,7% en Réf) : année tardive, effet non labour avec lit de semence qui se réchauffe lentement et effet limaces qui a retardé le cycle du maïs	Humidité 20% (séchage nécessaire) Impuretés 24% (déclassement en alimentation animale) 45,9% protéines soja	Blé : PS 84, protéines 12,4%, mycotoxines OK	

Une maîtrise insatisfaisante des adventices

Cette maîtrise insatisfaisante a pour origine pour une part la stratégie de non labour, mais aussi des difficultés à réunir les conditions optimales de traitement et de planning de travail des intervenants sur la parcelle :

Le 1er blé est propre, pas le second. On arrive au bout de l'effet nettoyant historique des cultures de printemps pour le blé.

Le 1er soja est propre, pas le second.

Le traitement de prélevée sur le rang du maïs a toujours une bonne efficacité. Appliquer le produit sur un sol frais permet d'assurer 60 à 70% d'efficacité du désherbage ; en cas de semis en conditions sèches et en absence de pluie dans les 6-8 jours, la culture est irriguée pour assurer la levée et optimise ainsi le désherbage.

Le liseron semble mieux maîtrisé en système Innovant (dans la Référence, la situation s'est dégradée). La stratégie de traitement chimique sur chaumes de blé a fini par porter ses fruits, ainsi que l'abandon du binage qui multiplie les rhizomes.

La flore a évolué, avec notamment davantage de panics et de sétaires coriaces. Les graminées sont favorisées par le travail superficiel (par rapport au labour) et encore plus par le semis direct. On remarque aussi l'apparition de chardon, de rumex et de laiteron. Le non labour favorise en effet les vivaces et le laiteron.

La rotation avec un-tiers de culture d'hiver n'a pas réussi à diminuer la pression forte de chénopodes. Le travail superficiel ne réduit pas les dicotylédones (seul le SD les réduit par rapport au labour et travail superficiel).

On observe un salissement global plus important des parcelles avec le temps, avec des levées échelonnées car le stock semencier est élevé, dès que les conditions climatiques sont favorables, des pluies notamment, il y a des levées importantes.

La dégradation de la propreté au fil du temps provient aussi en partie du manque de maîtrise technique des pulvérisations par le personnel (changement de personnel fréquent), avec des traitements par hygrométrie trop faible et sur des stades trop avancés d'adventices.

Une évolution plutôt favorable de la structure du sol

La structure de ce type de sol est qualifiée de « difficile » par les agriculteurs du secteur : la teneur en argile rend le sol sensible au lissage, mais elle n'est pas suffisante pour permettre une restructuration par retrait/gonflement des argiles, ni pour limiter les phénomènes de battance (compte-tenu de la faible teneur en matière organique), elle-même accentuée par l'irrigation.

Malgré ces difficultés, les peuplements obtenus avec le système Innovant en non labour sont toujours bons.

Les effets du non labour commencent à se faire sentir positivement. La structure est devenue meilleure en système Innovant qu'en Référence labourée.

Les conditions de récolte ne sont pas toujours optimales et nécessitent parfois une reprise (chisel après maïs).

La structure ne s'est pas dégradée au fil du temps, c'est une réussite en non labour dans ce type de sol. On n'a pas d'argument pour avancer que la structure s'est améliorée. Par rapport à la Référence labourée, les structures sont différentes. Parfois meilleure dans l'Innovant, notamment en année humide (meilleurs ressuyage et portance), jamais moins bonne que le labour.

Cf. Annexe 1 (profils culturaux de 2013 sur les 4 parcelles).

Une fertilité chimique satisfaisante

La teneur en P Olsen a diminué en 6 campagnes, dans l'horizon de surface, mais aussi jusqu'à 25 cm. Au démarrage de l'essai les teneurs étaient au-dessus des seuils T-impatte

(0,8) pour les cultures à exigence faible en P, comme le maïs, le soja et le blé. En 2015, les teneurs sont inférieures à T-impasse pour la parcelle RI1 et restent supérieures pour la parcelle RI2.

A l'inverse, les teneurs en K échangeable ont augmenté. Elles sont aujourd'hui dans les 3 parcelles au-dessus de T-impasse (0,18) pour une culture à faible exigence en K comme le blé. Pour une culture moyennement exigeante comme le maïs et le soja, on se situe en général entre T-renforcé (0,20) et T-impasse (0,30).

La teneur en MO a augmenté de 0,4 points en 6 ans dans 0-10 cm et de 0,2 points à 20 cm, avec une augmentation plus importante dans la parcelle RI1 et moins importante dans la parcelle RI3. Dans la parcelle RI3, les rendements de maïs sont moins élevés (donc les restitutions de résidus) et les pailles ont été toujours exportées. Par contre, les cipan y ont produit davantage de biomasse, mais qui ne compense pas les apports de MO par les résidus.

	Innovant 1 Mars-2015 (Avr-2009 sur 0-25 cm)		Innovant 2 Mars-2015 (Avr-2009 sur 0-25 cm)		Innovant 3 Mars-2015 (Avr-2009 sur 0-25 cm)	
	0-10 cm	15-23 cm	0-10 cm	15-23 cm	0-10 cm	15-23 cm
pH eau	7,2 (7,7)	7,3	7,4 (7,0)	7,3	7,0 (7,5)	7,3
CEC Metson mé/kg	149 (146)	148	144 (138)	142	128 (131)	132
MO g/kg	23,7 (17,1)	20,2	21,5 (18,6)	19,7	20,6 (18,1)	18,2
P2O5 JH g/kg	0,14 (0,15)	0,14	0,14 (0,17)	0,14	0,14 (0,21)	0,14
P2O5 Olsen g/kg	0,077 (0,084)	0,074	0,087 (0,11)	0,081	0,083 (0,12)	0,077
K2O g/kg	0,29 (0,16)	0,21	0,22 (0,20)	0,19	0,28 (0,19)	0,18

	Innovant 1	Innovant 2	Innovant 3
MO	+++	++	+
Pailles de blé	1x exportées 1x restituées	1x exportées 1x restituées	2x exportées
cipan	1x 0 1x 3,6 tMS	1x 0 1x 1,6 tMS	1x 1,6 tMS 1x 3,4 tMS
Rendement maïs	108,5 q et 118 q	108,5 q et 121 q	84 q et 107,5 q

Référence Mars-2016 (Avr-2009 sur 0-25 cm)	
0-25 cm	
pH eau	7,3 (7,5)
CEC Metson mé/kg	132 (137)
MO g/kg	20,8 (19,0)
P2O5 JH	0,14

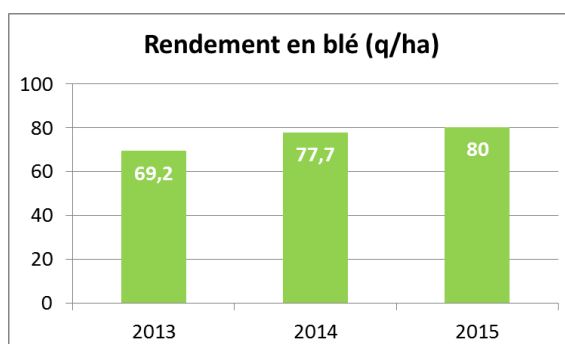
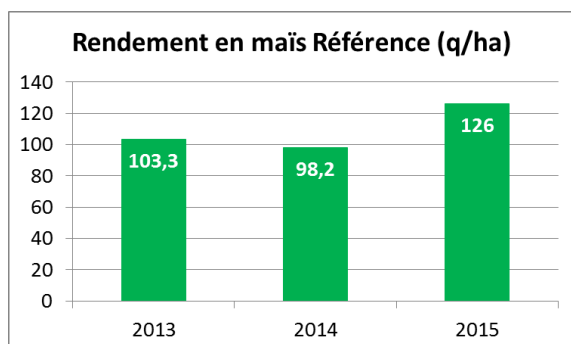
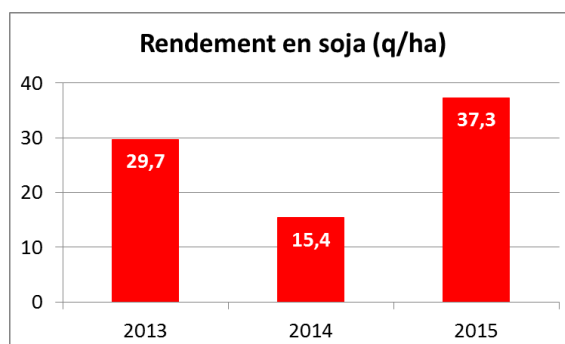
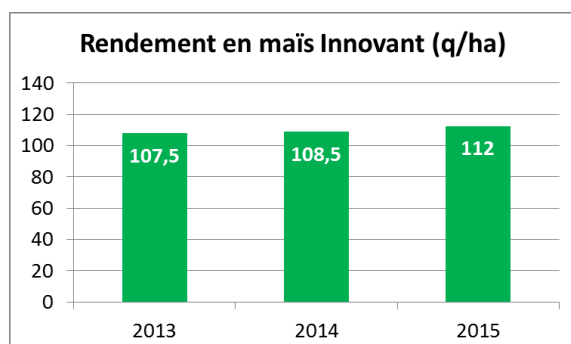
g/kg	(0,24)
P2O5	0,081
Olsen	
g/kg	
K2O g/kg	0,18
	(0,21)

Variation interannuelle des rendements

La variation interannuelle des rendements est un indicateur de la robustesse du système vis-à-vis des aléas climatiques, mais aussi biotiques, puisque chaque année induit une pression différente, mais chaque parcelle a également une pression différente pour les bioagresseurs inféodés à la parcelle (spécialement les adventices).

Le rendement moyen en maïs est le même en Innovant et en Référence, sur les années 2013 à 2015. Cependant le rendement en Innovant est stable, avec 2% de coefficient de variation, alors que le rendement en référence a un coefficient de 13,5%.

Le rendement du blé a un coefficient de variation de 7,5% et le soja de 40,5%. Le rendement du soja en 2014 a été catastrophique (accident lièvres + désherbage inefficace).



PERFORMANCES DE DURABILITE DU SYSTEME

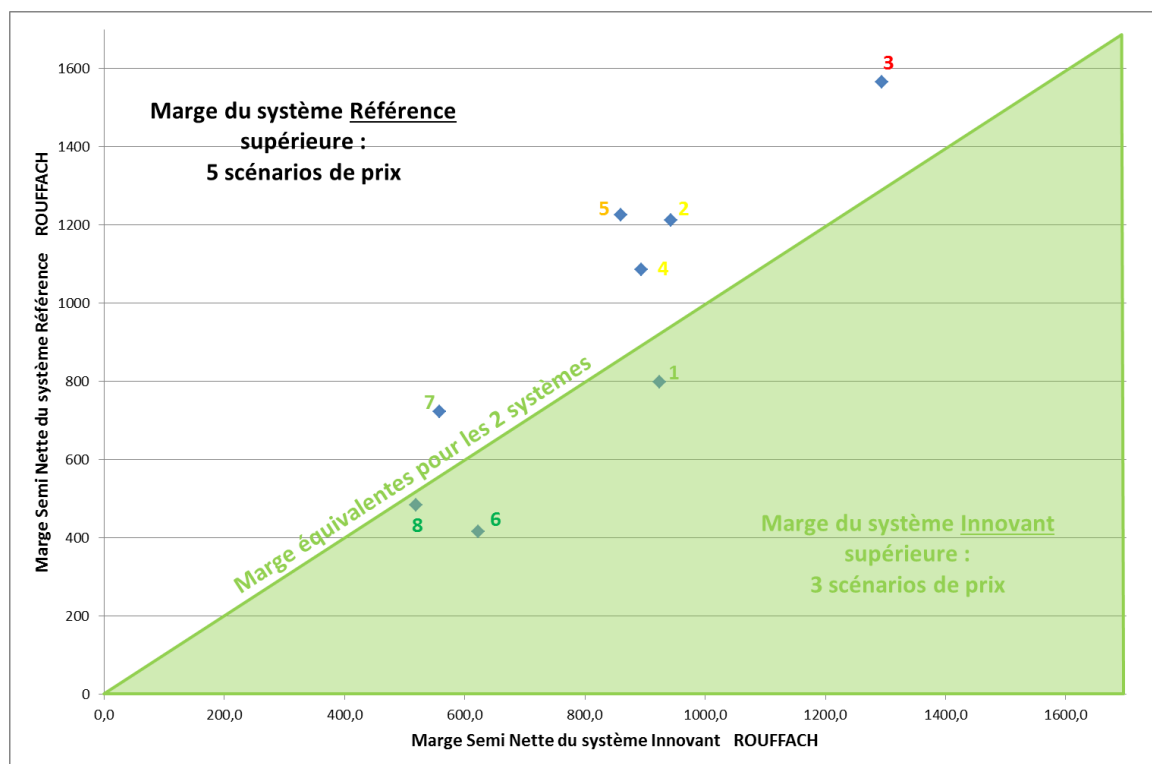
Performances du système selon ses concepteurs

Le tableau suivant récapitule l'atteinte des objectifs assignés au système (en vert) ou la non-atteinte de ces objectifs (en rouge). Les indicateurs ont été calculés à l'aide du logiciel de l'INRA CRITER 5.4, à partir de la synthèse des pratiques culturales de 2013 à 2015. A l'exception de la structure du sol observée depuis le début de l'essai, et des pertes de nitrates et phytosanitaires mesurées sur 3 campagnes 2012 à 2014 à l'aide de bougies poreuses. En 2015, il n'y a plus assez de bougies poreuses en bon état pour avoir des résultats significatifs.

	Satisfaction vis-à-vis du Système innovant	Système de Référence
Marge semi-nette	924 euros/ha/an > 798 Avec le scénario n°1 « médian » de prix (2007-2014)	++/-
Temps traction (hors irrigation)	2,6 h/ha/an	3,8
Temps « libre »	15 semaines > 8	20
Pertes de nitrates (mesurées)	35 uN/ha/an < 38	54
I-Phy nappe	9,2 > 8,6	7,6
IFT hors TS	2,5 > 1,5 (dont 1,9 herbi)	4,0 (dont 3,0 herbi)
Consommation d'énergie	22 GJ/ha/an < 28	35
Structure sol	moyenne	Moins bonne

Performances économiques satisfaisantes ou non selon les scénarios de prix :

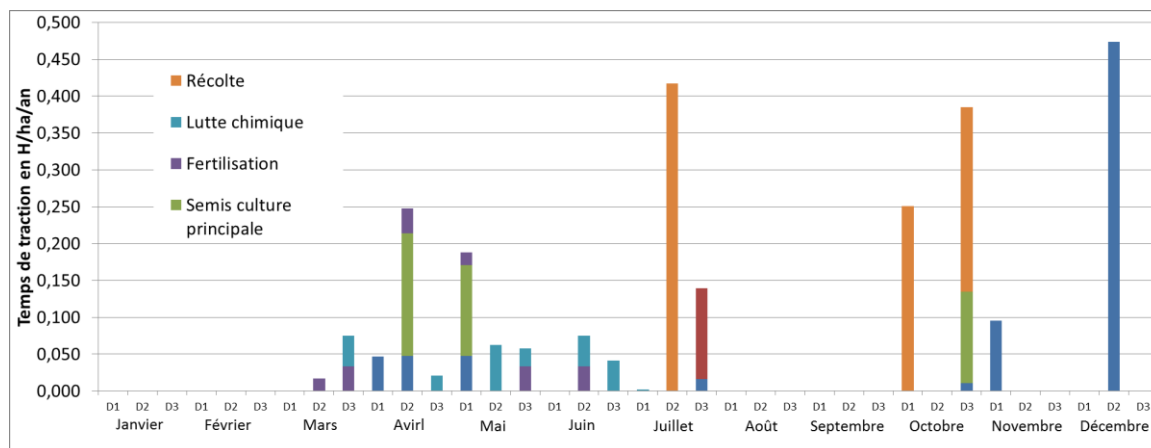
Avec 3 scénarios de prix, la MSN du système innovant est supérieure à celle de la Référence (de 17 à 30%), avec 5 scénarios c'est l'inverse (cf. figure ci-dessous). L'avantage est au système Innovant en cas de marges faibles et de prix du maïs faibles et à la Référence en cas de marges élevées et de prix du maïs élevés. On ne connaît pas la probabilité d'occurrence de chaque scénario dans l'avenir, néanmoins, c'est un indicateur qui laisse penser les rentabilités peuvent être considérées comme équivalentes entre les 2 systèmes. L'idée reçue en plaine d'Alsace que plus un système contient de maïs, plus il est rentable ne se vérifie que dans les situations de prix de vente du maïs élevé.



Performances sociales satisfaisantes :

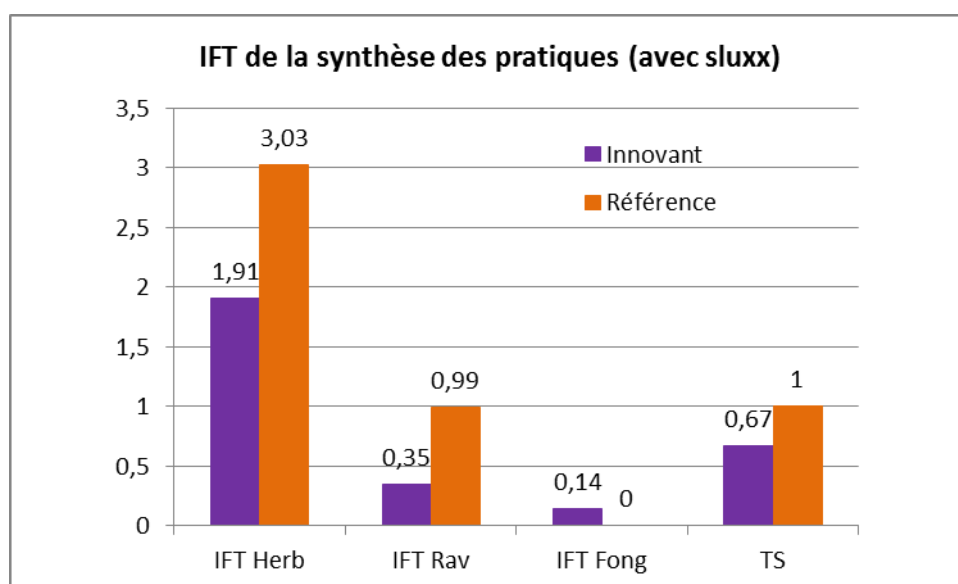
Le temps de traction est inférieur pour le système Innovant par rapport au système de référence, même sans comptabiliser le temps consacré à l'irrigation, supérieur en Référence. Le temps d'observation et de transport entre parcelles n'est pas pris en compte.

La répartition du temps de travail dans l'année permet de dégager 15 semaines pour faire autre chose qu'intervenir sur les parcelles, ce qui est satisfaisant, même si c'est moins qu'en système de Référence. Le système de Référence a des pics de travaux plus concentrés.



Performances environnementales mitigées :

L'usage de produits phytosanitaires est trop élevé, principalement l'usage d'herbicides (IFT 1,9 par an sur le système innovant). Le non labour et le non travail du sol en général avant le semis conduisent à une utilisation importante de glyphosate en interculture pour semer le maïs ou le soja sur une parcelle propre (0,7 point d'IFT). Le non labour favorise aussi l'apparition de rumex, de chardons et de graminées qu'il faut traiter. Par ailleurs, les traitements herbicides réalisés trop souvent avec une hygrométrie trop faible et sur des adventices développées conduisent à utiliser de fortes doses sans garantie d'efficacité satisfaisante de désherbage.



Cependant, même si l'IFT est élevé, le risque de pertes de substances actives vers la nappe est très faible selon l'indicateur I-Phy® eaux profondes V1 (9,2/10). Le risque est également assez faible pour le système de référence (7,6/10), sachant qu'une note supérieure à 7/10 indique un risque de transfert acceptable.

Les flux de substances actives lixiviées ne peuvent pas être calculés à partir des analyses des eaux recueillies par les bougies poreuses. Cependant, les substances actives révélées par ces analyses sont des indicateurs que ces SA ont migré sous 1 mètre de profondeur, sans qu'on puisse en quantifier le flux. L'absence de détection par contre n'est pas une preuve de l'absence de migration, car soit on a pu rater la migration (très peu d'échantillons avec un volume suffisant pour permettre les analyses), soit la SA ne traverse pas la céramique des bougies poreuses.

Les mesures des SA dans les bougies montrent que, malgré les bonnes notes I-Phy® V1 pour les 2 systèmes dans leur globalité, certaines SA ont migré : bentazone (Basagran sur soja), fluroxypyr (Tomigan sur blé et Starane Gold sur maïs), imazamox (Pulsar sur soja), glyphosate (entre blé et maïs) et son métabolite l'AMPA. Toutes ces SA sont des herbicides et elles concernent les 3 cultures.

A noter que ces mesures concernent la période de début de l'expérimentation (2009-13), puisque les quantités d'eau recueillies dans les bougies n'ont plus été suffisantes par la suite pour réaliser les recherches de substances actives. Il n'est donc pas possible de mettre en relation ces résultats avec les pratiques décrites dans la synthèse des pratiques 2013-2015 exposées dans ce rapport, qui correspondent au système de culture stabilisé.

Parcelle	Application	Recherche					Total Recherche	Détection					Total Détection	% détection/recherche					total %détection/recherch
		Innovant 1	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois		>12 mois	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois		>12 mois	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois	
AMPA	11/08/2011		3		2	12	17					1	1					6%	6%
Bentazone	30/06/2010		2	2			4		2	1		3		50%	25%				75%
Bentazone	07/07/2010		3	1		18	22		3			3		14%					14%
Fluroxypyr	10/05/2011		1	2		13	16					4	4					25%	25%
Glyphosate	11/08/2011		2		3	12	17					1+1+1	0					18%	0%
imazamox	25/06/2013		2				2		2			2		100%					100%
imazamox	05/07/2013		2			1	3		2			1	3		67%			33%	100%

Parcelle	Application	Recherche					Total Recherche	Détection					Total Détection	% détection/recherche					total %détection/recherch
		Innovant 3	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois		>12 mois	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois		>12 mois	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois	
Bentazone	01/07/2011		1				1		1			1		100%					100%
Fluroxypyr	05/05/2009					2	2					1	1					50%	50%

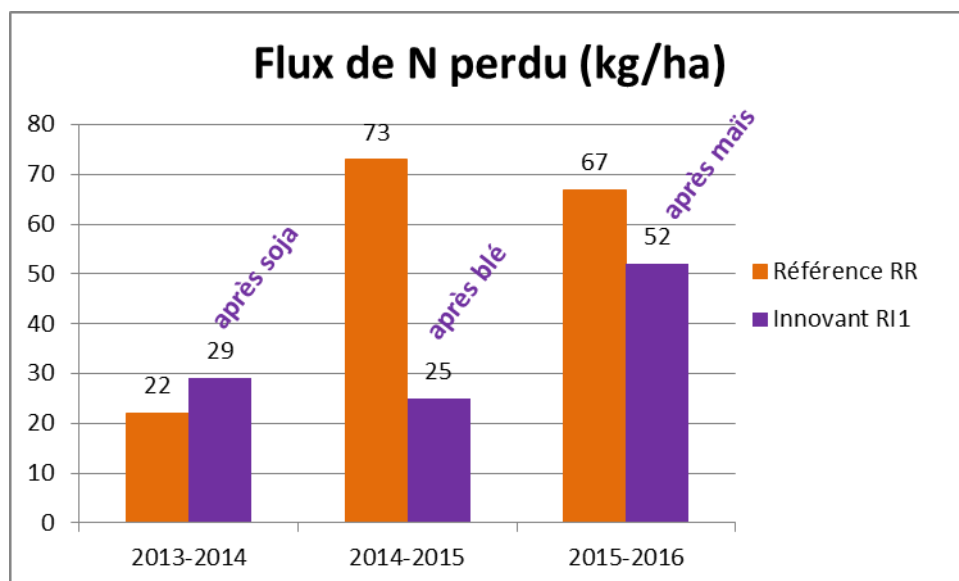
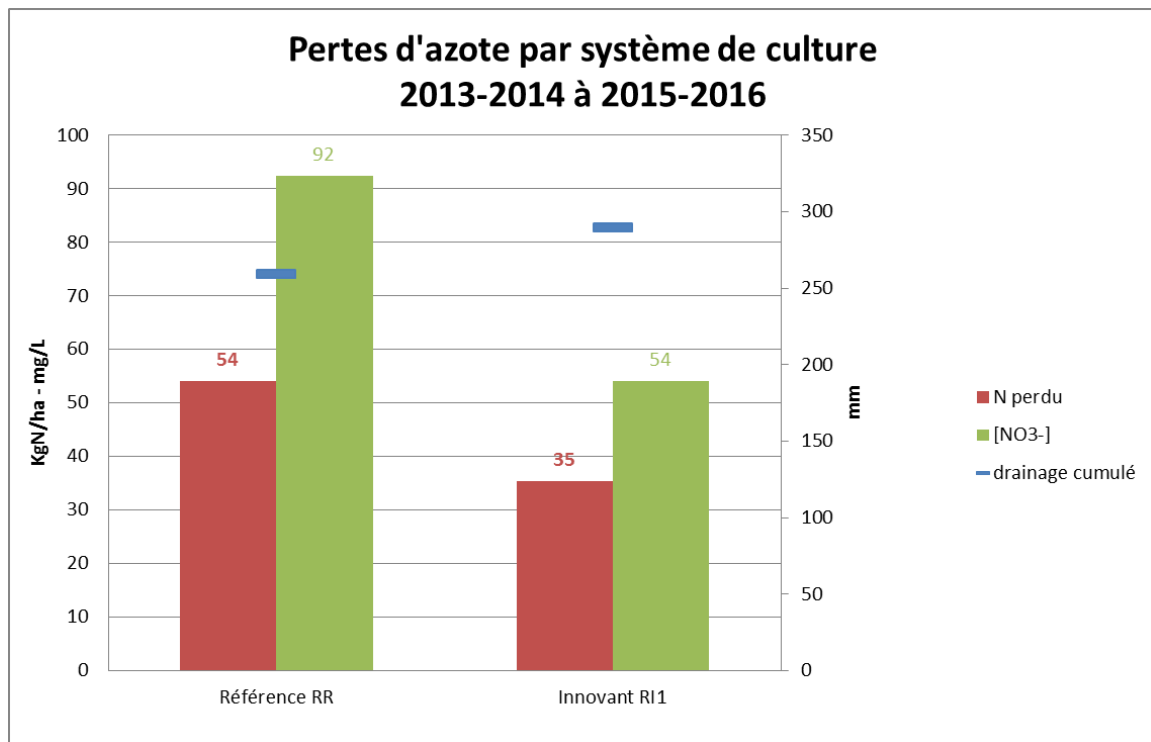
Parcelle	Application	Recherche					Total Recherche	Détection					Total Détection	% détection/recherche					total %détection/recherch
		Référence	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois		>12 mois	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois		>12 mois	0-3 mois	3-6 mois	6-9 mois	9-12 mois	
AMPA	20/08/2010		1	2		1	8					2	2					17%	17%
Fluroxypyr	09/07/2013			1			1		1			1	2		50%				100%
Glyphosate	20/08/2010		1	2		1	8					1	1					8%	8%

En rouge : quantifié à une concentration > 0,1 µg/L

Source : stage de Lucie Martin (ARAA, 2016).

Les pertes de nitrates sur la parcelle RI1 entre 2013-14 et 2015-16 (après les 3 campagnes étudiées dans ce rapport : soja 2013, blé 2014 et maïs 2015) sont plutôt modérées et inférieures de 35% à celles de la parcelle de Référence sur la même période. Le système Innovant atteint son objectif. Il n'est pas possible d'utiliser les parcelles RI2 et RI3 car de nombreuses bougies sont défectueuses.

La concentration moyenne en nitrates de l'eau qui draine est cependant élevée (54 mg/L), même si elle est de 41% inférieure à celle de la parcelle de Référence.



La fertilisation minérale azotée du maïs et du blé n'est pas ajustée, au regard du rendement effectivement réalisé (jugement a posteriori). L'ajustement de la fertilisation est une piste à

ne pas perdre de vue pour améliorer encore les pertes de nitrates. Dans le système de Référence, la fertilisation n'est ajustée qu'en 2016. La surfertilisation la plus importante, celle du maïs Référence 2013, se détecte au niveau de la concentration de l'eau 2 ans après, à l'automne 2014.

La cipan après le blé 2014 est plutôt réussie (3,65 tMS/ha).

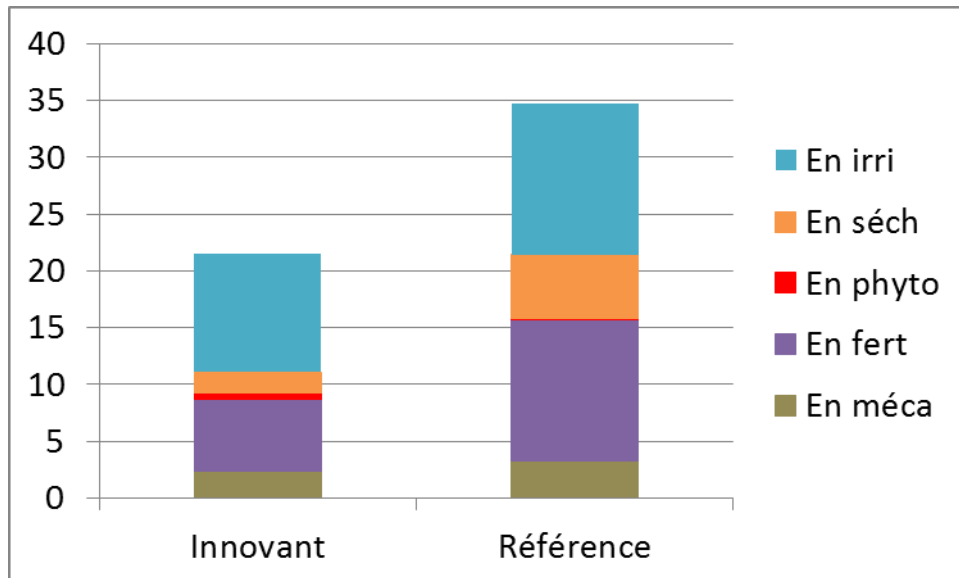
Sur les 3 années, le drainage est plus élevé dans le système Innovant que dans le système de Référence. Le drainage au printemps sous soja est plus important que sous maïs, car le soja démarre plus tard à consommer de l'eau en quantités importantes. Par ailleurs, on n'observe pas d'effet du blé 2014 pour diminuer le drainage de printemps par rapport au maïs Référence, car le blé a été irrigué et une pluie 3 jours après l'irrigation a fait déborder la réserve du sol. La parcelle en maïs Référence avait été aussi irriguée pour faire démarrer le maïs, mais avec moins d'eau. Enfin, en juillet 2014, très humide, du drainage a eu lieu après la récolte du blé, avant que la cipan ne consomme de l'eau.

Deux points faibles du système innovant subsistent, sur lesquels il paraît difficile de progresser. La période entre la récolte du soja et la fin d'hiver est risquée car le blé n'a pas la capacité à absorber suffisamment d'azote en début de cycle ; l'interculture entre maïs et soja est également problématique par sa longueur car nous n'avons pas trouvé de solution satisfaisante pour couvrir le sol efficacement (le sous-semis a été testé en début d'essai puis abandonné).

Innovant RI1	2013-14			2014-15			2015-16	
	Eté (soja)	Hiver (blé)	Printemps (blé)	Eté (après blé)	Hiver (cipan)	Printemps (maïs)	hiver	Printemps (soja)
Drainage (mm)	12	259	11	35	140	34	166	213
N perdu (kg N/ha)	1	27	2	5	18	2	19	33
[NO3] (mg/L)	41	46	60	61	56	31	50	69
Apport engrais (kgN/ha)	/		211			183		/
Rdt visé (q/ha)	/		99			125		/
Rdt réalisé (q/ha)	29,7 (soja)			77,7 (blé)			112 (maïs)	

Référence	2013-14		2014-15		2015-16	
	Hiver	Printemps	Hiver	Printemps	Hiver	Printemps
Drainage (mm)	242	7	133	34	166	194
N perdu (kg N/ha)	21	1	56	17	35	32
[NO3] (mg/L)	38	77	187	221	93	73
Apport engrais (kgN/ha)	215	179		183		
Rdt visé (q/ha)	126	110		112		
Rdt réalisé (q/ha)	103		98		126	

La consommation d'énergie est beaucoup plus faible en système Innovant (22 GJ/ha/an) par rapport au système de Référence (35 GJ/ha/an), principalement par moins d'irrigation (en bleu sur la figure), de séchage de maïs (en orange) et de fertilisation (en violet), principalement azotée (introduction du soja). Le non labour joue peu (en marron). L'utilisation de produits phytosanitaires est négligeable (en rouge) et plus élevée en Innovant car le glyphosate est le pesticide qui demande le plus d'énergie pour sa fabrication.



Conclusions sur l'atteinte des objectifs et sur les stratégies employées :

Les objectifs d'améliorer la fertilité du sol (sa structure, la vie du sol), de gagner du temps et d'économiser l'énergie a conduit au choix d'une stratégie de réduction du travail du sol. Ces 3 objectifs ont été atteints, et la réduction du travail du sol y a contribué.

La stratégie de diversification (notamment pour la lutte contre les bioagresseurs et pour moins consommer d'énergie via l'irrigation) n'est pas un obstacle à l'objectif de rentabilité en cas de prix faibles du maïs ; en cas de prix élevés diversifier rend moins rentable.

L'objectif de faible risque de pertes de produits phytosanitaires vers la nappe a été atteint. La stratégie de choix des substances est primordiale (pas de prélevée en soja, pas d'herbicide d'automne en blé).

L'objectif de faible usage de produits phytosanitaires n'est pas atteint, même si l'IFT est plus faible en système Innovant qu'en Référence. La stratégie de réduction du travail du sol choisi pour atteindre d'autres objectifs a limité l'atteinte de cet objectif.

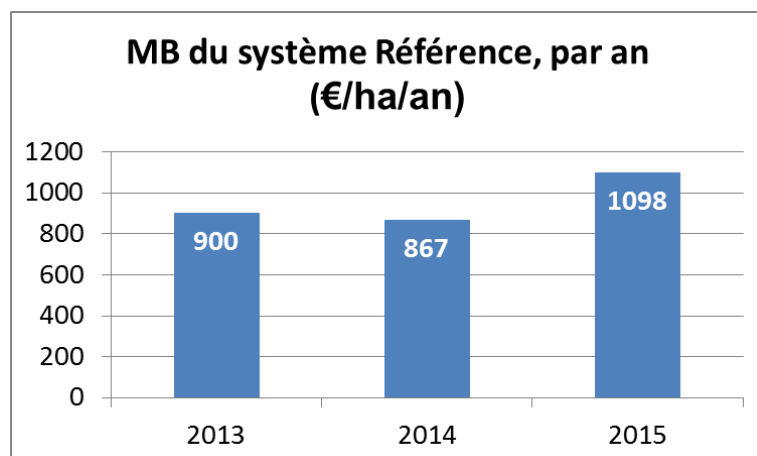
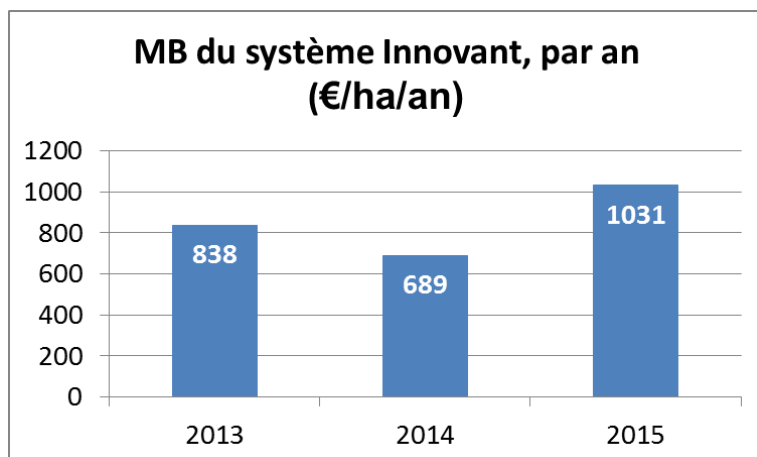
Quelle variabilité des performances ?

Nous évaluons les performances « moyennes » du système à partir de la synthèse des pratiques. Il est cependant intéressant d'étudier les variations des performances selon les années et selon les parcelles pour avoir une idée de la dispersion des performances. Pour ce faire, nous revenons aux pratiques réalisées dans toutes les parcelles toutes les campagnes, sans correction des événements exceptionnels.

Variation interannuelle des marges brutes

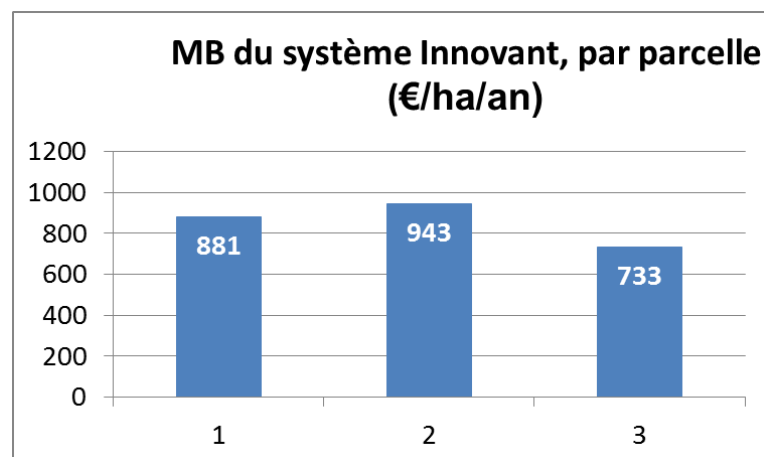
Avec des prix fixes d'une année à l'autre (scénario n°1 « médian »), le coefficient de variation est de 20% pour la marge brute du système Innovant et 13% pour la Référence. Les rendements sont donc plus stables pour le maïs Innovant que le maïs Référence, mais le rendement soja étant très variable sur les 3 ans à cause de l'accident de 2014, la MB est plus variable pour le système Innovant.

NB : Même en laissant de côté 2014, plombée par le rendement de soja, la marge brute est toujours supérieure pour la Référence, alors qu'on a vu précédemment que la marge semi-nette, avec ce scénario n°1, était supérieure pour le système Innovant. Dans la marge brute, l'irrigation n'est pas prise en compte notamment (ni les charges de mécanisation).



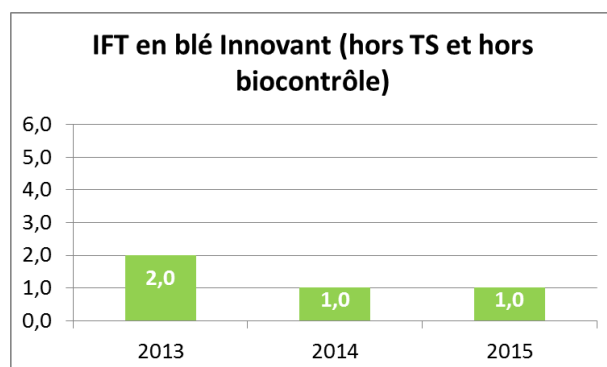
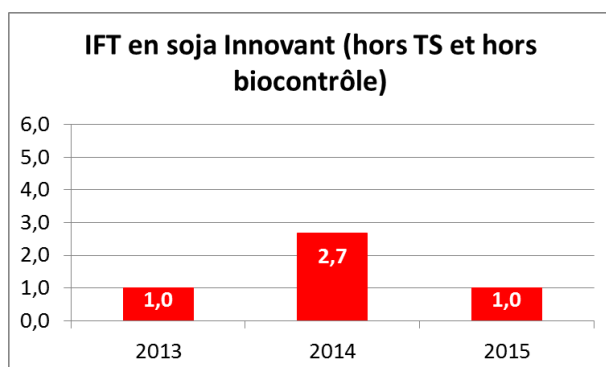
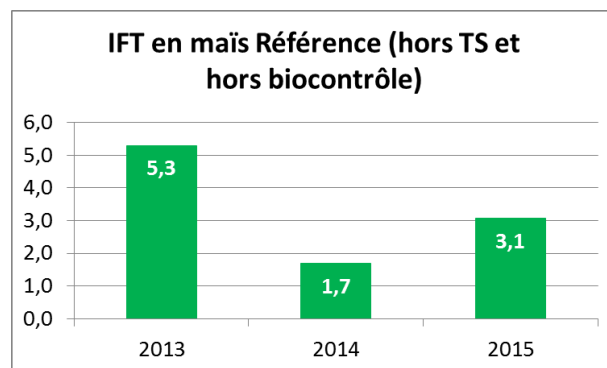
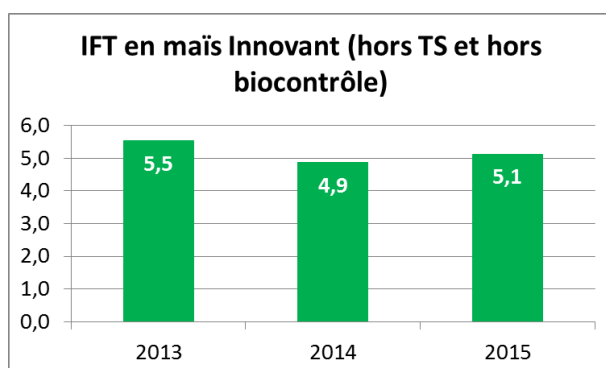
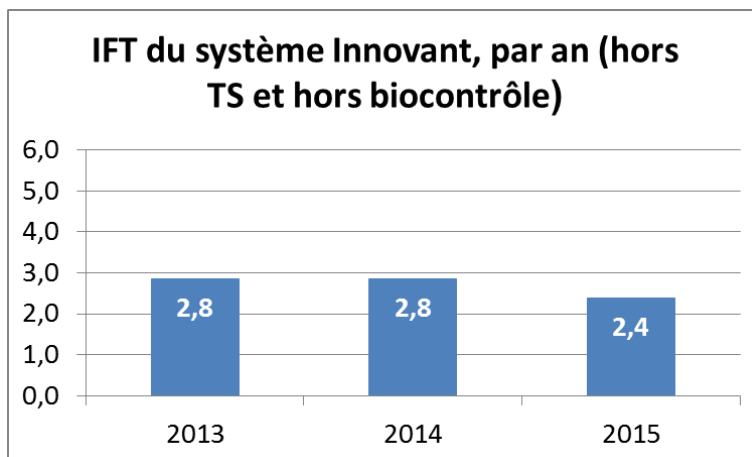
Variation interparcelles des marges brutes

Le coefficient de variation de la MB entre parcelles est de 13%, soit plus faible que la variation entre années. La parcelle n°3 ressort avec le rendement soja de 2014.



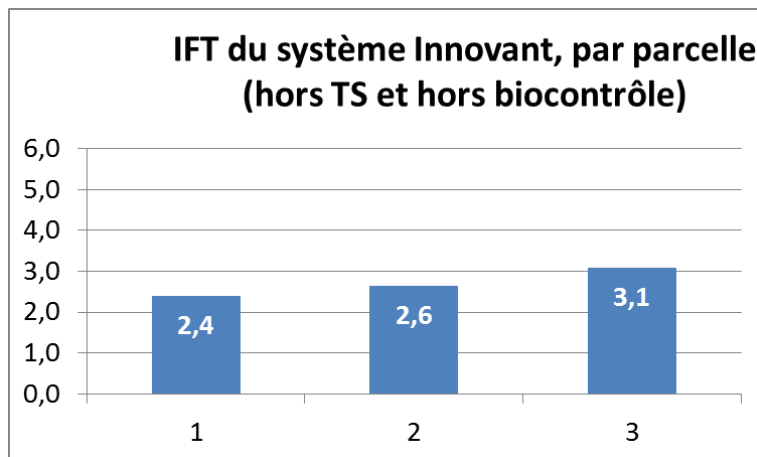
Variation interannuelle des IFT

La variabilité de l'IFT total du système (sans traitement de semences ni produits de biocontrôle type SluXX HP) est faible entre années (coefficient de variation 10%). Elle est supérieure en Référence (54%).



Variation interparcelles des IFT

La variabilité de l'IFT total du système (sans traitement de semences ni produits de biocontrôle) est faible entre parcelles (coefficient de variation 13%).



Contribution du système de culture au développement durable

La contribution au développement durable est élevée (note de 6/7) et plus élevée que celle du système de Référence (5/7).

Les dimensions économiques et environnementales sont en particulier excellentes (5/5). La dimension environnementale est bien meilleure pour le système Innovant que le système de Référence. La dimension sociale est faible (2/5) en raison d'un risque pour l'agriculteur du fait de l'usage de certains produits toxiques (classés Xn ou T selon la classification antérieure à 2015) :

- Thirame ou prothioconazole (traitement de semences maïs)
- Rédigo (prothioconazole en traitement de semences blé)
- Lagon (isoxaflutole, aclonifen : herbicide maïs)
- Force 1,5G (téfluthrine : insecticide du sol maïs)
- Tomigan (fluroxypyr : herbicide blé)
- Nébraska (prochloraze, tébuconazole : fongicide blé)
- Glyphosate (que nous avons toujours considéré comme « toxique », même si certaines formulations ne sont pas classées Xn).

Le séchage du maïs et l'irrigation (présence de deux cultures d'été sur trois ans) génèrent une consommation en énergie du système très élevée, même si cette consommation a diminué de 38% par rapport au système de référence. La maîtrise des adventices n'est pas satisfaisante (cf. réussite selon le pilote). Des progrès peuvent aussi être faits sur le risque pour la santé de l'agriculteur, en choisissant mieux les substances actives. Pour le reste, les résultats du système sont très satisfaisants d'un point de vue contribution au développement durable.

Les figures qui suivent représentent la contribution au développement durable du système innovant et celle du système de référence, évaluée selon la méthode du réseau expérimental du RMT Systèmes de culture innovants.

Les indicateurs de base, à gauche du tableau, sont calculés avec CRITER 5.4 (cf. manuel CRITER) ou établi à dire d'expérimentateur et de pilote du système, en fonction des mesures et observations réalisées sur le terrain

Les seuils pour juger chaque critère et lui donner une qualification depuis « très insatisfaisant » (rouge), jusqu'à « très satisfaisant » (bleu) sont ceux par défaut de MASC quand ils existent et les mêmes pour tous les systèmes du réseau. A l'exception du critère de rentabilité, avec les 3 seuils pour juger l'indicateur de marge-semi-nette qui sont individualisés pour chaque système : pour dégager un SMIC, 2 SMIC et 3 SMIC, en fonction du fermage et de la SAU par UTH moyens pour la petite région agricole. Pour le système de Rouffach, le fermage retenu est de 200 €/ha et la SAU de 80 ha/UTH.

Les pondérations entre les critères sont celles par défaut de MASC (cf. manuel MASC 2).

Système de Référence : synthèse sur 2013-2015

Cultures		<i>Maïs</i>
Interventions		
Interculture précédente	7/11 : broyage des cannes 27/11 : labour 25 cm de profondeur	
Faux semis	3/4 : Herse rotative (1x/7 si pas de gel et printemps sec) 3/4 : 1 x vibro (6x/7) 10/4 : 1 x vibro	
Semis et variété	14/04 : semis semoir monograine DKC 4408 93 000 grains/ha	
Lutte / adventices	8/5 : Camix 2,5L + Callisto 0,5L + Banvel 0,3L (2 x/3) 4/6 : Nisshin 0,68L + Callisto 0,68L(1 x/3) 11/6 : Nisshin 0,7L + Callisto 0,7 + Banvel 0,3L 9/7 : Cursus 60 g + Banvel 0,2 L + Starane Gold 0,6 L à enjambeur (1 x/6)	
Lutte / maladies		
Lutte / insectes	Bélem 12 kg (2x/3) Force 12,2 kg (1x/3)	
Fertilisation	Pas PK 29/05 : 170 kg urée stade 6-7 F 16/6 : 260 kg urée stade 10-11F	
Irrigation	20 mm (1 x/2 si sec au semis pour structure du sol) 26/6 : 35 mm 14/7 : 35 mm 12/8 : 34 mm	
Récolte/ résidus	export des	30/10 : 109 q (98-126 q) à 26% humidité (23-31%) Cannes restituées

ENSEIGNEMENTS DE L'EXPERIMENTATION, REFERENCES PRODUITES

Cheminement pour mettre au point le système de culture

Le système Innovant a été ajusté progressivement depuis la 1^{ère} campagne 2009, pour mieux répondre aux attentes du pilote et aux objectifs assignés au système lors de sa conception.

Technique abandonnée car ne donnant pas les résultats escomptés :

- **Abandon du sous-semis** de culture intermédiaire dans le maïs depuis 2013 (pas assez de biomasse pour piéger les nitrates dans l'interculture qui suit) et du binage (nécessaire pour sous-semer, mais multiplie le liseron). L'absence de sous-semis permet aussi de broyer les cannes de maïs juste après la récolte pour lutter contre la pyrale.

Règles de décision modifiées pour atteindre les résultats attendus :

- Au démarrage, la **variété de maïs** choisie était plus précoce que ce qu'il était possible de semer dans le secteur, dans le but de récolter un grain plus sec (économie d'énergie et de frais de séchage). Le gain d'humidité a été de 1,3 points, pour une perte de rendement de 19 q (variétés précoces à moindre potentiel) par rapport à la Référence. Il a été décidé de choisir des variétés à meilleurs potentiels à partir de 2013, mais avec un caractère denté marqué, pour permettre une dessiccation rapide en fin de cycle.
- **Densité normale de semis en maïs** en non labour (au démarrage 10% de plus était semé pour compenser les éventuels manques à la levée : l'expérience a montré qu'il n'y a pas eu de manques en non labour avec l'usage du strip-till).
- **Dates d'apport du N en blé :**
 - o Règle de décision initiale : double densité pour décider du 1^{er} apport de 50 uN, mais le blé ne jaunit jamais, conduisant toujours à une impasse. Le 1^{er} apport est donc toujours l'apport principal au stade épi 1 cm.
 - o Or souvent il fait très sec et la mise en route de l'irrigation au 1^{er} avril (stade épi 1 cm) est compliquée compte tenu du planning d'activité de l'exploitation. Le blé, ayant de gros besoins en N à ce stade, subit par conséquent une carence de N.
 - o La règle de décision a été modifiée et est revenue à une façon de faire classique : apport systématique de 40 u fin février pour augmenter la probabilité d'une pluie significative (15 mm) permettant la mise à disposition de l'apport et la valorisation du N. Puis apport principal à épi 1 cm : le blé ne subit pas de faim d'azote, même si la pluie tarde à venir, car il a pu déjà absorber une partie des 40 u.
 - o La RDD initiale a été modifiée pour des raisons d'organisation des chantiers. Son bienfondé agronomique n'est pas remis en question, à condition que l'azote soit solubilisé dès le stade épi 1 cm, par une pluie et/ou une irrigation.
- **Les cipan** semées après broyage des pailles de blé sont souvent hétérogènes par manque de levées dans les andains riches en menues pailles (barrière physique et milieu favorable aux limaces), ce qui libère de l'espace pour les adventices ultérieurement. Il a donc été décidé d'exporter les pailles s'il est possible de le faire rapidement (pas de pluie). Mieux vaut une belle cipan qui étouffe des adventices, elle produit aussi de la matière organique stable, presque autant que les pailles en théorie. Si l'enlèvement des pailles n'est pas possible rapidement, les pailles sont

laissées en surface , pour ne pas perdre trop de temps et semer le plus vite possible la cipan.

Introduction de techniques améliorant l'atteinte des résultats attendus :

- **Le strip-till** en substitution du semis direct prévu sécurise l'implantation du maïs depuis l'automne 2011.
- **Le désherbage de prélevée a été abandonné** au profit de produits de post-levée en soja depuis 2011, pour un risque plus faible de transfert vers les eaux souterraines. Les 1ères années, l'efficacité du désherbage est correcte.
- Les **traitements au glyphosate** n'étaient pas efficaces contre les liserons sur chaumes de blé, il a été décidé d'ajouter un adjuvant (sulfate d'ammonium) depuis 2015 qui neutralise les ions Ca²⁺ de l'eau dure.

Combinaisons de techniques performantes

Rechercher un système de culture atteignant plusieurs objectifs ambitieux est complexe. Notamment le choix du non labour - pour favoriser la structure du sol, l'économie d'énergie fossile et un temps de travail acceptable - complique la maîtrise des adventices avec peu d'herbicides. Le système de culture de compromis qui en découle n'atteint pas encore tous ses objectifs, mais quelques points positifs doivent être relevés.

- Contrairement à l'idée répandue en plaine d'Alsace irriguée, diversifier avec d'autres cultures que le maïs, ne rend pas les systèmes non **rentables**. Le **temps de travail** est acceptable et est même moins important qu'en système de Référence.
- Les légumineuses et les cultures d'hiver peu irriguées permettent de consommer moins **d'énergie fossile** directe et indirecte que la monoculture irriguée.
- Le **désherbage du maïs sur le rang** au semis avec un herbicide racinaire, couplé si nécessaire à une irrigation de 10-15 mm a toujours une bonne efficacité. En cas de conditions sèches, la culture est irriguée pour assurer une levée rapide et homogène, l'efficacité du désherbage est de ce fait également sécurisée.
- Le **non labour** améliore la portance et la structure du sol si le travail est réalisé en bonnes conditions (sol suffisamment ressuyé). Le strip-till assure la bonne implantation du maïs. Le semis direct du blé permet une bonne implantation.
- Le choix d'une **variété de blé** peu à moyennement sensible à la fusariose des épis, couplé au précédent soja, permet de s'affranchir d'un traitement fongicide à épiaison, sans incidence sur la teneur en mycotoxines des grains.
- Le choix d'une **variété de blé** globalement peu sensible aux maladies foliaires permet de faire une impasse en fongicide au stade 2 noeuds en années à faible pression.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Pistes d'amélioration du système de culture

- **Strip-till** : les conditions sont souvent trop humides à l'automne (fenêtre climatique très étroite) : passer le strip-till dès que possible après la récolte du blé et le semis de la cipan, avec reprise au strip-till à disques au printemps si nécessaire.
- Diminuer les **doses d'engrais azoté sur blé** car le rendement visé n'est jamais atteint et ceci provoque un risque de pertes de nitrates, malgré la cipan, et ce d'autant plus si la cipan ne s'implante pas toujours bien, soit à cause d'une sécheresse, soit à cause de limaces en année très humide.
- Revenir à la règle de décision initiale pour le **fractionnement de l'engrais azoté en blé**, en ajoutant une irrigation au stade épi 1 cm en cas d'impasse du 1er apport et d'absence de pluie après l'apport d'engrais.
- Abandonner le recours à N-tester qui conduit à un 3ème apport trop important.
- Tester la méthode de pilotage des apports d'engrais azoté à l'INN, quand la méthode sera calibrée pour l'Alsace.

- Choisir les produits phytosanitaires en fonction de leur **faible toxicité pour l'applicateur**, y compris les traitements de semences

- Globalement, **axer les efforts sur la maîtrise des adventices**, en se basant sur les caractéristiques biologiques des adventices problématiques pour le système (cf. annexe 2).
 - o Réfléchir aux **faux-semis et au désherbage mécanique** en complément du chimique (ou en substitution quand c'est possible), les campagnes où l'on est en option de travail du sol en soja et en blé.
 - o Eviter les substances actives détectées dans les bougies poreuses : **bentazone, imazamox, fluroxypyr, glyphosate**. La dépendance du système au glyphosate doit être étudiée de près pour trouver une solution alternative.
 - o Appliquer un produit **racinaire en soja une fois de temps** en temps pour éviter des dérives de flore, surtout que le Pulsar (imazamox) est le seul produit de post-levée existant et qu'on a détecté sa présence dans les bougies poreuses. Le Pulsar en post-levée est toujours appliqué à la dose homologuée car la pression adventices est élevée. L'application se fait toujours en 2 fois car les amplitudes thermiques sont élevées en mai et juin (risque de phytotoxicité à pleine dose) et car la double application permet de gérer les levées échelonnées. Choisir alors une SA de prélevée la moins transférable vers la nappe.

Evolutions du milieu à suivre particulièrement sur le long terme

- **La maîtrise des adventices** : mesurer systématiquement et améliorer les conditions de traitements herbicides et répondre aux questions qui se posent : le système induit-il une augmentation de la flore ? Quelle flore ? Le glyphosate est-il incontournable dans ce type de système ? La réduction de la pression de liseron des haies à un niveau acceptable a été obtenue par l'utilisation régulière d'herbicides anti-liseron : le liseron va-t-il continuer à être maîtrisé grâce à la rotation sans emploi massif de désherbant ?...

- **La structure du sol en non labour** : des profils culturaux ont été réalisés au printemps 2013, à renouveler.

- **La vie du sol**, en lien avec le précédent point.

Développer les liens avec le groupe DéphyFERME Grandes cultures 68

- Visite chez des agriculteurs du groupe DéphyFERME
- Echanges d'informations techniques entre les expérimentateurs et les agriculteurs

Valoriser davantage le dispositif et les résultats dans l'enseignement au lycée agricole

- Utilisation par les professeurs des mesures acquises sur l'expérimentation : mesures tensiométriques, biomasses et azote absorbé par les cipan, reliquats azotés...
- Visite sur le site avec une classe
- Accompagnements des expérimentateurs par les élèves en mini-stage sur l'exploitation du lycée lors des mesures et observations
- Travaux pratiques de comptage de lombrics et d'observations de profils culturaux

Réseaux nationaux d'expérimentations système : mutualiser les résultats pour établir des connaissances plus génériques

L'expérimentation de Rouffach fait partie de deux réseaux nationaux, celui du RMT Systèmes de culture innovants (110 systèmes de culture en polyculture-élevage-grandes cultures-cultures légumières) et celui de DéphyEXPE-Ecophyto (80 systèmes de culture, toutes filières végétales confondues).

Le but de ces réseaux est l'échange autour des méthodes, mais aussi la mutualisation des résultats dans le but de faire émerger des connaissances plus génériques. Les méthodes pour analyser les réseaux de systèmes sont encore en cours d'élaboration.

ANNEXES

Annexe 1 : Poster exposé à Agriculture de demain 1-2/06/2016 : effet du système de culture sur la structure du sol

Annexe 2 : Caractéristiques des adventices observées le plus fréquemment sur le système Innovant



Effets du système de culture sur la structure du sol

Profils culturaux sur le système de culture Innovant de Rouffach – 16/04/2013
 et sur le système de Référence de Rouffach – 25/04/2013

Parcelle avant soja Innovant

13/12/2012 : chisel après maïs
 15/04/2013 : vibroculteur
 18/04/2013 : compactor

CI → Maïs → Soja → Blé tendre

→ Bon peuplement
 → 30 q/ha

Semelle de labour encore visible (en jaune sur le schéma) (dernier labour : janvier 2009).
 Maïs qui a évolué.
 50% du profil a une structure satisfaisante (en vert et jaune), (au-dessus du passage du chisel).
 La zone non travaillée (sous le passage de chisel) est très dense (en rouge).
 Compact en-dessous (en orange).

Parcelle en blé Innovant

18/10/2012 : houe rotative pour niveler après soja (ornières du chantier de récolte)
 25/10/2012 : semis direct du blé au Séméato
 → Bonne levée

CI → Maïs → Soja → Blé tendre

→ 69 q/ha
 (Manque d'eau et chaleur en juin)

Profil homogène et continu.
 Assez dense du fait de l'absence de travail (orange sur le schéma).
 Avec 2 passages de roues de moissonneuse-batteuse très denses (en rouge sur le schéma).
 Le fond et la semelle de labour ne sont plus visibles (dernier labour en janvier 2009).

Parcelle avant maïs Référence

19/10/2012 : broyage cannes de maïs
 27/11/2012 : labour en conditions humides
 15/04/2013 : vibroculteur
 18/04/2013 : compactor
 22/04/2013 : semis maïs

Maïs → Maïs → Maïs

→ 87% levée du maïs, 10% verse, 103 q/ha

Un fond de labour bien visible et une semelle très présente (en rouge sur le schéma).
 Sur 5-7% du profil : gley = zones asphyxiées par l'excès d'eau (en bleu).
 Des débris organiques non dégradés, souvent associés au gley.

Labour en conditions humides → débris organiques en paquets, tassement et absence d'oxygène, fond du labour qui freine l'infiltration → gley → mauvais enracinement → verse (vent le 8/9).
 Le sol présente encore des traces de gley à l'automne.

Parcelle avant maïs Innovant

13/12/2012 : broyage de la cipan après blé (tournesol, vesce printemps) 3,4 tMS
 17/01/2013 : strip-till sur sol gelé sur 3-4 cm, maïs humide en-dessous
 04/04/2013 : houe rotative aller/retour pour niveler et casser les mottes (peu efficace)

CI → Maïs → Soja → Blé tendre

→ 91% levée du maïs, 107,5 q/ha

Très humide dans la zone du passage de la dent de strip-till, mais sans gley.
 Nombreuses limaces dans cette zone humide (→ anti-limaces nécessaire).
 Dense (orange ou rouge), même en surface.

Fond de labour invisible (dernier labour en janvier 2009).
 Pas de débris organiques non dégradés.
 Pas de lissage dû à la dent.

→ Pas de verse du maïs car bon enracinement.
 → Un sol qui se ressuie bien à l'automne suivant.

En système Innovant, une évolution plutôt favorable de la structure du sol entre 2009 et 2015 :

Maintenir une bonne structure dans ce type de sol est difficile : travailler, par un labour, mais aussi par travail superficiel, souffe la terre, qui se referme aussitôt, notamment avec l'irrigation. Malgré cette difficulté, les peuplements obtenus avec le système Innovant sont toujours bons, même en non labour. Par rapport à la Référence labourée, les structures sont différentes : parfois meilleure dans l'Innovant, et jamais moins bonne qu'en labour. La portance en Innovant a augmenté.

L'ARAA est membre d'Alsace Vitae Biopôle Colmar
www.araa-agronomie.org

Annexe 2

	Facteurs défavorisant l'adventice	Facteurs favorisant l'adventice
Liseron des champs : Dicot vivace Sols basiques à neutres Bien drainés Toutes cultures, affinité pour les cycles estivaux (maïs...)	Labour. Travail en période sèche et chaude avec des dents souples ou des ailettes	Rotations courtes avec maïs ou tournesol. Travail superficiel, en particulier à disques. Décompacteurs.
Chardon des champs : Dicot vivace Sols suffisamment humides, argileux et fertiles Toutes cultures	Luzerne de 3 ans. Cultures qui multiplient les possibilités de lutte diverse. Labour. Cultivateur à socs ou ailettes montés sur ressorts en été-automne en dessous des rhizomes. Broyage ou fauchage des chardons en bordure, avant floraison.	Semis direct ou travaux superficiels. Outils à disques. Bordures de parcelles non fauchées.
Rumex crépu et rumex à feuilles obtuses Dicot pluriannuelle Sols basiques et argileux à argilo-limoneux pour le crépu et sols acides et argilo-sableux à limoneux pour l'optu Germe toute l'année, de façon plutôt échelonnée Profondeur de germination 0,5-2cm Forte persistance du stock semencier pour le crépu Bouturage possible à partir de fragment de racine Toutes cultures Nitrophile pour l'optu	Labour A l'interculture en période sèche, passages répétés d'outils à dents incurvées vers l'avant, munis d'ailettes Faux-semis Fauche ou broyage précoce des bordures Herse étrille, bineuse	Outils animés, outils à disques Non labour
Laiteron rude : Dicot annuelle Tout type de sol Germe toute l'année, de façon plutôt échelonnée Profondeur de germination < 1cm Toutes cultures Légèrement nitrophile	Labour. Déchaumages en été après récolte estivale. Herse étrille à l'aveugle ou en culture. Bineuse.	Bordures de parcelles Rotations courtes type maïs-céréales d'hiver. Rotations avec colza. Travail superficiel, semis direct, strip-till.
Chénopode blanc : Dicot annuelle Tout type de sol	Semis direct Espacer les cultures d'été Faux-semis en avril	Maïs Forte disponibilité en azote et en eau.

<p>Germe de mars à septembre, de façon plutôt échelonnée Profondeur de germination < 1-4cm Forte persistance du stock semencier. Cultures d'été sarclées (maïs, soja...), de printemps. Nitrophile</p>	<p>Déchaumages profonds et répétés en interculture Herse étrille, houe rotative, bineuse</p>	<p>Labour</p>
<p>Amarante réfléchie : Dicot annuelle Sols meubles, grumeleux, perméables, riches en azote. Germe de mai à septembre, de façon plutôt échelonnée Profondeur de germination < 0,5-3cm Forte persistance du stock semencier. Beaucoup de semences par plante. Cultures d'été (maïs, soja...), de printemps.</p>	<p>Eviter 2 cultures d'été successives Déchaumages été et début d'automne Faux-semis de début de printemps Herse étrille, houe rotative, bineuse</p>	<p>Cultures d'été et printemps Sol travaillé à plus de 15 cm</p>
<p>Mercuriale annuelle : Dicot annuelle Tout type de sol Germe de février à juillet, de façon plutôt échelonnée Profondeur de germination < 0-2cm Cultures de printemps et été</p>	<p>Faux-semis en avril Herse étrille, houe rotative, bineuse</p>	<p>Cultures de printemps et d'été.</p>
<p>Renouée persicaire : Dicot annuelle Sols limoneux et sableux bien aérés, humides, riches en éléments nutritifs et azote. Germe d'avril à juillet, de façon plutôt groupée Profondeur de germination 1-3cm Forte persistance du stock semencier. Cultures de fin de printemps et été</p>	<p>Alterner les périodes de semis des cultures. Herse étrille, bineuse</p>	<p>Cultures de fin de printemps et été</p>
<p>Panic pied-de-coq : Graminée annuelle Tout type de sol Germe d'avril à septembre, de façon plutôt échelonnée</p>	<p>Alterner les périodes de semis des cultures. Labour occasionnel, tous les 3-4 ans, de préférence après une culture mal désherbée</p>	<p>Cultures de printemps et d'été irriguées</p>

<p>Profondeur de germination 0-3cm Cycle biologique court Faible persistance du stock semencier Cultures estivales</p>	<p>Faux-semis d'avril Herse étrille, houe rotative à l'aveugle Binage avec buttage</p>	
<p>Sétaire glauque : Graminée annuelle Sol limoneux, sableux, acide Germe d'avril à septembre, de façon plutôt échelonnée Profondeur de germination 0-3cm Cycle biologique court Faible persistance du stock semencier Cultures estivales</p>	<p>Alterner les périodes de semis des cultures. Labour occasionnel, tous les 3-4 ans, de préférence après une culture mal désherbée Faux-semis d'avril Herse étrille, houe rotative à l'aveugle Binage avec buttage</p>	<p>Cultures d'été Travail du sol réduit ou semis direct</p>
<p>Ray-grass d'Italie : Graminée annuelle à bisannuelle Tout type de sol Germe toute l'année, de façon plutôt échelonnée Profondeur de germination 1-2cm Faible persistance du stock semencier Cultures d'hiver, également de printemps Résistances aux fops et sulfonilurées</p>	<p>Labour occasionnel tous les 3-4 ans Déchaumages superficiels de fin d'été début d'automne, avec terre fine, rappuyée Faux-semis répétés et retard de date de semis d'automne Binage en cultures à fort écartement (maïs)</p>	<p>Rotations courtes de semis d'automne Non labour</p>
<p>Brome stérile : Graminée annuelle Tout type de sol Germe toute l'année, de façon plutôt échelonnée Profondeur de germination 0-1,5cm Faible persistance du stock semencier Cultures d'hiver Rudérale à tendance nitrophile Résistances aux sulfonilurées</p>	<p>Labour très efficace Faux-semis également : à 2-3 cm avant les semis d'automne ; à coupler avec un retard de date de semis Diversifier les rotations céréalières avec une culture d'été, ou à défaut avec une culture où le brome peut facilement se traiter (colza, pois) Herse étrille, houe rotative à l'aveugle</p>	<p>Rotations courtes de semis d'automne Non labour</p>

Source : www.infloweb.fr