



HAL
open science

InnovAB - Améliorer les systèmes de grande culture en agriculture biologique : enseignements d'un réseau d'expérimentations de longue durée

Laurence Fontaine, Florian Celette, Stéphane Cordeau, Pascale Metais, Catherine Vacher, Jean-Pierre Cohan, Leatitia Fourrié, Claire Jouany, Blaise Leclerc, Gregory Vericel, et al.

► To cite this version:

Laurence Fontaine, Florian Celette, Stéphane Cordeau, Pascale Metais, Catherine Vacher, et al.. InnovAB - Améliorer les systèmes de grande culture en agriculture biologique : enseignements d'un réseau d'expérimentations de longue durée. *Innovations Agronomiques*, 2019, 71, pp.295-309. 10.15454/8lp-mxj. hal-02105010

HAL Id: hal-02105010

<https://hal.science/hal-02105010>

Submitted on 19 Apr 2019

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

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



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

InnovAB - Améliorer les systèmes de grande culture en agriculture biologique : enseignements d'un réseau d'expérimentations de longue durée

**Fontaine L.¹, Celette F.², Cordeau S.³, Métais P.⁴, Vacher C.⁴, Cohan J.-P.⁴, Fourrié L.¹, Jouany C.⁵,
Leclerc B.¹, Véricel G.⁴, Vian J.-F.², Aveline A.⁶, de Cordoue A.-L.⁴, Boissinot F.⁷, Burel E.⁸,
Castel L.⁹, Champion J.⁹, Desclaux D.¹⁰, Dupont A.¹¹, Le Bras M.¹², Prieur L.⁸, Quirin T.¹³,
Thévenon P.¹³, Casagrande M.¹**

¹ ITAB (Institut Technique de l'Agriculture Biologique), 149 rue de Bercy, F-75595 Paris Cedex 12

² ISARA-Lyon, UP Agroécologie & Environnement, 23 rue Jean Baldassini, F-69364 Lyon Cedex 07

³ Agroécologie, AgroSup Dijon, INRA, Univ. Bourgogne Franche-Comté, 17 rue Sully, F-21065 Dijon

⁴ ARVALIS – Institut du végétal, 3 rue Joseph et Marie Hacquin, F-75016 Paris

⁵ INRA UMR AGIR Université de Toulouse INP-ENSAT, F-31326 Castanet Tolosan Cedex

⁶ Groupe ESA, 55 rue Rabelais, BP 30748, F-49007 Angers Cedex 01

⁷ Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, 9 rue A. Brouard, F-49105 Angers Cedex 02

⁸ CREABio, LEGTA Auch-Baulieu, Route de Tarbes, F-32000 Auch

⁹ Chambre d'Agriculture de la Drôme, 2485 Route des Pécollets, F-26800 Etoile-sur-Rhône

¹⁰ INRA UE Diascope, Domaine de Melgueil, Chemin de Mezouls, F-34130 Mauguio

¹¹ Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, Parc d'activités de Runanzvit, F-22970 Ploumagoar

¹² EPLEFPA de Chartres / Chambre d'Agriculture de l'Eure-et-Loir, La Saussaye, F-28630 Sours

¹³ Fédération Régionale AB (FRAB) Nouvelle Aquitaine, 12 bis rue Saint-Pierre, F-79500 Melle

Correspondance : laurence.fontaine@itab.asso.fr

Résumé

Pour accompagner l'essor actuel de l'agriculture biologique, il est important de disposer de références sur la conception de systèmes de culture durables, pour des agriculteurs récemment convertis ou plus expérimentés. L'évaluation faite de systèmes de grande culture bio innovants, testés en réseau d'expérimentations système de longue durée, montre de bonnes contributions au développement durable, avec des performances économiques et environnementales satisfaisantes. Des points de vigilance ressortent sur le maintien à long terme du potentiel de production des parcelles (risques de développement non contrôlé d'adventices, de carences en éléments minéraux). Les systèmes privilégiant la mobilisation de leviers agro-écologiques montrent des perspectives intéressantes.

Mots-clés : agriculture biologique, fertilité, adventices, évaluation multicritère, agroécologie

Abstract: Improving arable crop systems in organic agriculture : lessons from a network of long-term experiments

To support the current growth of organic farming, it is important to have references on the design of sustainable cropping systems for newly converted or more experienced farmers. The evaluation of innovative organic arable crop systems, tested in a network of long-term system experiments, shows good contributions to sustainable development, with satisfactory economic and environmental

performances. Points of vigilance stand out with regard to the long-term maintenance of the production potential of the soil (risk of uncontrolled development of weeds, or mineral element deficiencies). Systems that focus on mobilizing agroecological levers show promising prospects.

Keywords: organic farming, fertility, weeds, multi-criteria assessment, agroecology

Introduction

L'agriculture biologique (AB) continue sa croissance rapide en France ; elle atteignait 1.77 millions d'hectares en 2017, soit 6.5% de la Surface Agricole Utile (SAU). La filière des grandes cultures, en particulier, connaît un essor important, en réponse à un marché lui aussi en pleine expansion. Plus de 400 000 ha de grandes cultures étaient engagés en AB en 2017, dont 35% en conversion, soit 3.4% de la SAU des grandes cultures après avoir été longtemps en deçà des 2%. Si la progression est nette, les parts de surface de grandes cultures en bio dans les bassins céréaliers traditionnels restent en-deçà de la moyenne nationale : 0.6% et 0.8% dans le Nord Pas-de-Calais et la Picardie, 1.2% en Champagne-Ardenne, 1.6% en Centre Val-de-Loire, 2.1% en Ile-de-France, contre 9.2% en Midi-Pyrénées (principalement dans le département du Gers), 6% en Rhône-Alpes (Drôme en tête) ou 4.6% en Pays de la Loire (Agence Bio, 2018). En termes de perspectives, le Plan Ambition Bio 2022 vise le développement des surfaces en AB pour atteindre 15% de la SAU d'ici 2022, relayés par les Plans Filières issus des Etats Généraux de l'Alimentation. Le Plan Céréales, en particulier, vise le doublement des surfaces de grande culture biologique en 5 ans, l'objectif étant d'équilibrer l'offre nationale face à la demande. Poursuivre la dynamique actuelle de conversion de nouveaux producteurs, notamment dans les bassins céréaliers, est donc un enjeu majeur.

Au-delà de facteurs économiques, deux problématiques d'ordre agronomique sont identifiées comme un frein à la conversion : le maintien de la fertilité du sol et la maîtrise des adventices, plus difficiles à lever dans les systèmes céréaliers spécialisés qu'en systèmes de polyculture-élevage, qui bénéficient de la présence de prairies, d'engrais de ferme et de rotations diversifiées (Fontaine *et al*, 2012). Disposer de références sur la conception de systèmes de grande culture bio productifs et durables, répondant à ces deux problématiques agronomiques, est nécessaire pour (i) favoriser les conversions de systèmes céréaliers spécialisés, mais aussi (ii) fournir des réponses aux céréaliers biologiques qui souhaitent faire évoluer leurs systèmes de culture pour améliorer les performances économiques et agronomiques, tout en respectant l'environnement. De plus, si la dynamique de conversion actuelle est positive pour le développement de l'AB en France, elle signifie aussi l'arrivée de nombreux « nouveaux » producteurs (plus d'un tiers de surfaces de grande culture bio supplémentaires entre 2015 et 2017), à qui il est important de proposer des stratégies appropriées pour faire face aux principales problématiques rencontrées par leurs prédécesseurs.

Le projet InnovAB (projet CASDAR n°5368, 2014-2017) répond à ces enjeux en s'intéressant à la conception de systèmes de grande culture innovants en AB, à leur caractérisation et à l'évaluation de leurs performances. Il s'agit d'identifier les marges de manœuvre possibles et les leviers techniques les plus pertinents pour améliorer les performances des systèmes actuels. Pour cela, InnovAB s'appuie sur un réseau d'expérimentations de longue durée évaluant des systèmes de grande culture en AB, le Réseau RotAB, avec trois objectifs : (i) analyser les impacts de ces systèmes sur l'évolution de la flore adventice, (ii) analyser leurs impacts sur l'évolution de la fertilité des sols (en particulier N et P) et (iii) évaluer les performances de ces systèmes en termes économique, social et environnemental, au-delà des performances agronomiques. InnovAB est un projet multi-partenarial, rassemblant représentants du développement (Instituts Techniques Agricoles –ITAB et ARVALIS-, Chambres d'Agriculture –Pays de la Loire, Bretagne, Drôme-, Structures professionnelles bio –FRAB Nouvelle Aquitaine, CREABio-), de la recherche (INRA, ISARA, ESA) et de la formation (EPLEFPA Chartres, ISARA, ESA), responsables des dispositifs du Réseau RotAB et spécialistes de la fertilité, des adventices et de l'évaluation multicritère.

S'ils reposent pour la plupart sur la mobilisation forte de leviers agro-écologiques, les systèmes varient et font appel à des combinaisons de techniques innovantes, en lien avec le contexte et les objectifs de chaque essai (Figure 1). Ils donnent ainsi pour la plupart une place accrue à la diversification des cultures (en particulier avec des légumineuses), aux couverts végétaux, à l'association de cultures et à l'intégration d'aménagements semi-naturels favorables à la biodiversité. Quelques sites explorent des techniques de travail du sol réduit. Certains se placent en situation extrémisée, en s'interdisant tout recours à des intrants extérieurs (fertilisants et amendements), en vue d'évaluer leurs performances sur le long terme et repérer d'éventuelles limites (Fontaine *et al.*, 2018).

Cette diversité complexifie largement les valorisations communes. Néanmoins, la construction, dans le cadre du projet, de protocoles communs facilite les regroupements de données. Si le réseau permet la production de références dans des contextes spécifiques en valorisant les stratégies de chaque site, il conduit également à une capitalisation multi-sites dont l'analyse transversale n'est possible qu'à l'aide de méthodes d'analyses statistiques descriptives multivariées, car sa diversité ne permet pas de déterminer une puissance statistique *ex ante* pour l'ensemble du réseau.

1.2 Suivi de l'évolution de la flore adventice

La démarche retenue consistait à effectuer un suivi annuel de la flore adventice (abondance et diversité floristique) selon un protocole commun déployé sur une vingtaine de systèmes, répartis sur la dizaine de dispositifs du réseau. Les données ont ensuite été analysées à l'échelle des dispositifs, puis regroupées pour une analyse transversale à l'échelle du réseau. À chaque étape, des outils de saisie et d'analyse ont été co-construits puis fournis aux expérimentateurs pour leur permettre de continuer à évaluer l'impact des systèmes sur les adventices au-delà du projet. En effet, la flore adventice observée une année donnée résulte des pratiques mises en œuvre pendant la campagne, mais aussi les années précédentes. Il faut plusieurs années pour voir apparaître des dynamiques d'évolution de la flore propre au système de culture mis en place, ce qui rend le sujet difficile à traiter en seulement trois ans de suivis. InnovAB vise donc également à lancer une dynamique de suivi au sein du réseau d'expérimentation qui pourra être poursuivie au-delà de la durée du projet, voire élargie à d'autres sites.

Une méthode commune de suivi de la flore adventice a été mise au point collectivement au cours de la première année, en s'appuyant notamment sur la boîte à outils développée par le réseau RotAB (Fontaine *et al.*, 2014). Elle consistait à lancer aléatoirement 10 cadres de 0,25m² à l'intérieur d'une zone de suivi (dite « de référence ») maintenue fixe pendant toute la durée du projet. Dans ces cadres, le nombre d'adventices par espèces présentes a été compté et le stade dominant indiqué pour chaque espèce. La biomasse sèche de culture d'une part et d'adventices d'autre part a également été mesurée. Ces observations ont été répétées sur les trois campagnes culturales d'InnovAB (2014 à 2016), réalisées une fois par an à floraison de la culture, complétées selon les situations par des observations avant interventions mécaniques et, en cas de pratiques de régulation par compétition, avant fermeture du couvert et après récolte ou destruction.

Pour l'analyse à l'échelle de chaque dispositif, de façon à rendre compte de la performance de maîtrise des adventices de chaque système de culture, des fiches communes de synthèse et de présentation des résultats par site ont été co-construites, comparant flores initiales et finales (classes d'abondance, répartition par familles botaniques, indice d'équitabilité de Pielou et richesse spécifique), analysant l'évolution des densités et biomasses d'adventices sur trois ans. Elles intègrent aussi l'expertise des expérimentateurs, avec le classement des espèces selon leur perception (plus ou moins problématique), les points forts et les points faibles du système vis-à-vis de la gestion des adventices.

Pour l'analyse transversale multi-site, une méthode innovante a été développée (Frottier *et al.*, 2018) :

(1) Les systèmes de culture ont été regroupés en fonction de leur niveau de maîtrise des adventices, par analyses multivariées appliquées à quatre indicateurs synthétiques (abondance totale d'adventices,

biomasse totale d'adventices, richesse spécifique, indice d'équitabilité de Pielou). (2) Des indicateurs environnementaux (contexte pédoclimatique) et liés aux pratiques ont été calculés pour chaque système, puis les différents groupes ont été caractérisés. Ceci permet d'identifier les pratiques ou caractéristiques environnementales qui sont plus fréquemment présentes dans un groupe que dans un autre, explicatives du niveau de maîtrise de chaque groupe. (3) Le coût moyen des stratégies de gestion des adventices a été calculé ; la modélisation et les analyses de variances ont permis de faire le lien entre le niveau de maîtrise des adventices et les performances technico-économiques. (4) Pour hiérarchiser l'effet de différentes pratiques sur la maîtrise de la flore, une démarche d'élicitation (O'Hagan *et al*, 2006) a été conduite en parallèle pour formaliser l'expertise de spécialistes sur des pratiques définies à l'avance. La confrontation de l'analyse des résultats du réseau et de l'élicitation d'experts permet de hiérarchiser l'importance de différents leviers de gestion de la flore, et de consolider les résultats malgré le manque de données dans certains cas (notamment concernant le non labour). En contrepartie, la démarche étant longue à développer, elle est nécessairement limitée à quelques facteurs ou pratiques prédéfinies mais ne peut pas être appliquée à toutes les pratiques ou combinaisons de pratiques. Par conséquent, la hiérarchisation des leviers est partielle, car ne concernant que ceux qui ont pu faire l'objet d'une élicitation.

1.3 Suivi de l'évolution de la fertilité des sols

Pour ces systèmes de culture en AB, pour lesquels on cherche à diminuer la dépendance aux intrants extérieurs, voire l'autonomie en nutriments, l'objectif est de vérifier comment évolue la fertilité des sols à court, moyen et long terme, selon les pratiques de fertilisation. Au cours du projet InnovAB, il s'agissait de produire, dans les systèmes étudiés, des références sur les fournitures d'azote (N) du sol et d'évaluer pour les éléments phosphore (P) et potassium (K) les dynamiques globales au niveau du sol. En parallèle, un travail prospectif a été mené sur les relations, en AB, entre biodisponibilité du P dans les sols, taux de mycorhization des cultures et nutrition des cultures.

Dans tous les dispositifs du réseau, un protocole commun a été déployé pour réaliser : (i) des bilans de masse de l'azote minéral du sol à différentes périodes, afin de déterminer le niveau de minéralisation apparente de l'azote organique ; (ii) des comparaisons de bilans entrées-sorties en P et K aux évolutions des teneurs du sol, pour apprécier l'évolution à la hausse ou à la baisse de leur biodisponibilité. Des prélèvements de sol et de plantes ont ainsi été réalisés pendant les trois campagnes du projet (2014, 2015, 2016). Les données des différents sites ont été collectées et analysées en commun.

Concernant l'azote, l'évolution des stocks d'azote minéral du sol (reliquats) a été représentée à l'échelle de la rotation sous forme d'histogrammes faisant ressortir les principales périodes-clés du cycle de l'azote. Des comparaisons inter-sites entre des situations semblables ont ensuite été réalisées. Par ailleurs, des cinétiques d'absorption d'azote par la culture ont été construites pour hiérarchiser les précédents culturaux selon leur capacité à fournir de l'azote à la culture suivante. Lorsque cela a été possible, des bilans nets apparents d'azote ont été calculés pour estimer la minéralisation de l'azote organique du sol.

Concernant le P et le K, les teneurs initiales et finales (mesurées pour les indicateurs P Olsen et K échangeable) ont été comparées. Pour les dispositifs sur lesquels deux régimes de fertilisation étaient testés (système autonome non fertilisé vs. système productif fertilisé), les dynamiques de P Olsen et de K échangeable ont été mises en relation avec les bilans entrées-sorties cumulés de P et de K sur toute la durée de l'expérimentation système.

Enfin, sur les trois dispositifs présentant des gradients de phosphore dans le sol marqués, des mesures du potentiel mycorhizogène (capacité des Champignons Mycorhiziens Arbusculaires –CMA– présents dans le sol à coloniser les racines des cultures) ont été réalisées. Après une première campagne (2014)

qui a révélé des limites de l'utilisation du taux de mycorhization mesuré *in situ*, un essai mené en conditions contrôlées en serre a été réalisé pour comparer les sols et, ainsi, mieux rendre compte de l'effet du système de culture sur le potentiel mycorhizogène du sol. Ce potentiel a été mesuré sur un pois, utilisé comme plante piège dans cette expérimentation en pots conduite en 2016 à l'INRA de Toulouse.

1.4 Évaluation des performances des systèmes testés

Il s'agit de déterminer, pour chaque dispositif, (i) si les systèmes testés atteignent les objectifs prioritaires qui ont été fixés à la conception et (ii) leurs niveaux de performances sur les différents critères de la durabilité. L'analyse des résultats de cette évaluation conduit à repérer les points forts et faibles de chaque système, et à en rechercher les facteurs explicatifs afin d'aider à l'optimisation ou à la re-conception des systèmes en place. À l'échelle du réseau, il s'agit d'identifier les convergences et les variabilités dans les performances de ces systèmes. Cette analyse permet ainsi de repérer, dans une gamme plus large de systèmes de culture, ceux qui sont les plus à même d'être multi-performants.

Les systèmes étudiés se caractérisent par leur diversité, en termes de dispositifs expérimentaux (1 à 5 systèmes de culture selon les sites, répétition ou non des termes de la rotation chaque année), d'ancienneté (démarrage entre 2000 et 2013) et de niveaux de « rupture ». Certains dispositifs testent, en effet, des situations volontairement extrémisées (pas d'intrants exogènes, absence de travail du sol...), amenant certains d'entre eux à être régulièrement revus pour améliorer leur maîtrise technique, ce qui rend difficile leur évaluation *a posteriori*. La variabilité de ces situations a conduit à sélectionner certains dispositifs et, au sein de ces dispositifs, un ou plusieurs systèmes de culture. Au final, cinq dispositifs ayant suffisamment d'ancienneté, pour lesquels une rotation complète a été conduite, ont été retenus (Tableau 1). L'évaluation *a posteriori* des performances et de la durabilité des systèmes de culture testés y prend tout son sens ; elle a porté sur les performances vis-à-vis des objectifs prioritaires fixés initialement (agronomiques, économiques, environnementaux et/ou sociaux) et sur leur contribution au développement durable avec l'outil MASC 2.0. Les résultats de ces évaluations sont présentés plus loin dans cet article.

Tableau 1 : Caractéristiques des 6 systèmes de culture (5 dispositifs) du réseau RotAB évalués dans le cadre du projet InnovAB. Deux systèmes « extrémisés » (La Motte et Boigneville) n'apportent aucun fertilisant extérieur, tandis qu'à Dunière la modalité évaluée apporte du phosphore en quantité conséquente.

	La Motte (95)	Boigneville (91)	Archigny (86)	Dunière (26)	La Hourre (32) Rotation longue	La Hourre (32) Rotation courte
Début	2003	2008	2006	2000	2001	2001
Rotation	8 ans	6 ans	8 ans	5 ans	3-4 ans	2 ans
Apports fertilisants	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui
Potentiel du sol	élevé	moyen	faible	moyen	faible	moyen
Irrigation	Non	Non	Non	Oui	Non	Non
Travail du sol	Fréquent, dont labour					
Désherbage mécanique	(+)	++	+	++	++	++

Concernant les dispositifs les plus récents, l'évaluation des systèmes de culture ne peut être conduite de la même façon, seuls quelques termes de la rotation ayant été expérimentés et les effets cumulatifs attendus ne s'étant pas encore exprimés. Deux dispositifs, l'un avec tous les termes de la rotation présents chaque année (TAB), l'autre avec un seul terme (La Saussaye), ont néanmoins été étudiés avec un objectif d'ordre méthodologique ; l'évaluation a porté sur la faisabilité technique des systèmes, la réussite agronomique et les performances obtenues (résultats non présentés dans cet article). L'objectif de ce travail était avant tout (1) d'identifier les résultats d'essais systèmes récemment mis en

place pouvant déjà être valorisés, et (2) de proposer aux expérimentateurs de ces systèmes des outils (tableaux de bord) leur permettant de suivre les performances obtenues dès les premières années, pour ajuster si besoin la conduite de ces systèmes.

2. Les principaux résultats

2.1 Combiner les pratiques pour construire une stratégie de gestion efficace de la flore adventice

La flore d'une parcelle est conditionnée par le climat, le type de sol, son histoire et le système de production. Le suivi des systèmes de culture du Réseau RotAB confirme qu'en grande culture en AB la flore est généralement diversifiée : selon les sites et les systèmes, de 4 à 31 espèces (moyenne à 15) sont recensées, avec de très rares cas de dominance par une seule espèce. Les dicotylédones annuelles sont les plus rencontrées, avec plutôt des chénopodes et renouées en cultures de printemps, et des matricaires, sanves, ravenelles, gaillets et coquelicots dans les cultures d'automne. Les graminées sont faiblement représentées, hors folle avoine, laquelle est citée parmi les adventices les plus problématiques en système céréalier bio avec chardon des champs et rumex (ITAB, 2015). Si la présence de ces dernières est signalée sur la majorité des sites, leur gestion est considérée comme contrôlée, tout en restant un point de vigilance.

Les analyses par systèmes ont donné lieu à la publication de fiches de synthèse par site. Il ressort que si les leviers utilisés sont généralement les mêmes, ils le sont à des niveaux divers et avec des efficacités différentes, en lien avec les situations pédoclimatiques et les historiques des parcelles. L'analyse conjointe des évaluations par site met en avant l'importance d'une rotation bien réfléchie, de l'utilisation du labour et de la réalisation des interventions mécaniques dans des conditions appropriées, en insistant sur les leviers suivants :

- **L'intégration de cultures pluriannuelles** (luzerne, prairies) : elle permet de concurrencer la flore adventice tandis que les fauches épuisent les vivaces et évitent les montées à graines. Plusieurs sites signalent néanmoins des développements parfois insuffisants en première année, qui conduisent alors à un salissement des cultures pouvant devenir problématique pour la suite de la rotation (ex. Mauguio, Thorigné). Les conditions d'implantation et de développement paraissent ainsi déterminantes. Ces cultures pluriannuelles présentent souvent une flore plus diversifiée sans que cela ne soit considéré comme problématique par les expérimentateurs, car elle ne se retrouve pas dans les cultures suivantes (ex. Boigneville).
- **Le travail du sol** : la majorité des graines d'adventices germant dans les cinq premiers centimètres du sol, le labour enfouit les graines de l'année et élimine simultanément les repousses et les jeunes adventices. Il remonte aussi une partie du stock grainier des années précédentes. Le labour occasionnel offre un compromis intéressant, à moduler selon la flore présente (chénopodes, gaillet, renouée, rumex... ont des semences persistantes qu'il faut éviter d'enfouir après récolte). Si des expérimentations sont en cours pour évaluer l'opportunité de supprimer le labour en AB, il reste cité comme un levier essentiel pour gérer la concurrence des adventices dans la majorité des systèmes de cultures testés. Les déchaumages et faux-semis sont également mobilisés.
- **L'alternance de cultures de printemps/été avec des cultures d'automne** : elle permet de casser les cycles des adventices. L'insertion de cultures de printemps (ex. la Hourre, Kerguéhennec) est soulignée car l'implantation plus tardive permet un recours plus systématique aux techniques de faux-semis et à des interventions en culture dans de bonnes conditions. À l'inverse, les conditions d'interventions avant et sur cultures d'automne sont souvent jugées comme moins favorables d'où des efficacités limitées. Un bon développement végétatif de ces cultures, alors plus compétitives, est important.

- **La couverture du sol** par le choix des espèces et variétés, mais aussi par l'implantation de cultures intermédiaires et d'associations de cultures, est un levier recherché et mobilisé (*a fortiori* dans les deux systèmes visant à se passer du labour), mais il reste sujet aux « accidents », notamment climatiques, limitant le développement de plantes de service et donc leur pouvoir concurrentiel.

Concernant les espèces vivaces et pérennes, elles sont généralement considérées comme efficacement contrôlées grâce à la rotation et à des interventions mécaniques. Certains néanmoins ont eu recours au désherbage manuel en complément (Boigneville/rumex, Mauguio/chardon et folle avoine).

L'analyse statistique transversale aux différents systèmes a permis de faire émerger quatre groupes de systèmes de culture en fonction de leur niveau de maîtrise des adventices (Métais *et al*, 2018). Chacun se distingue par une stratégie spécifique de gestion des adventices, associée à un coût différent (Tableau 2). La stratégie est définie comme la combinaison cohérente de pratiques mises en œuvre pour atteindre un objectif. Elle nécessite une adaptation permanente du système à son contexte et à la flore qui elle-même évolue.

Tableau 2 : Lien entre la stratégie mise en œuvre, le niveau de maîtrise de la flore et les coûts de mécanisation et main d'œuvre dans 19 systèmes de culture suivis dans 9 sites du Réseau RotAB. Pour chaque groupe, les valeurs données sont les moyennes des différentes parcelles qui composent le groupe.

Stratégie	Nombre de parcelles	Densité d'adventices (plantes/m ²)	Biomasse adventices (g MS/m ²)	Nombre d'espèces recensées	Indice d'équilibre de Piélou*	Maîtrise des adventices	Coût de mise en œuvre** (€/ha/an)
Adaptée à un contexte défavorable (choix limité de leviers)	19	595	154	22	0,54	Faible	135 €/ha/an
Mécanique (interventions nombreuses + cultures rentables***)	24	116	134	10	0,46	Intermédiaire	232 €/ha/an
Adaptative (variable / parcelles et années)	14	35	66	9	0,7	Élevée	190 €/ha/an
Prophylactique (diversité cultures et conduites)	16	113	21	18	0,67	Élevée	

(*) Cet indice (dont la valeur est comprise entre 0 et 1) traduit le degré de diversité de la flore adventice et d'équilibre entre les espèces. Plus il est proche de 1, plus on considère que la flore présente est « équilibrée » (pas d'espèces dominantes).

(**) Il s'agit des charges de mécanisation et de main d'œuvre liées au travail du sol, labour compris, et au désherbage mécanique et éventuellement manuel mis en œuvre sur la parcelle. Ce coût ne prend pas en compte le manque à gagner lié à l'introduction éventuelle d'une culture peu rémunératrice mais nettoyante vis-à-vis des adventices.

(***) Le choix des cultures est fait en priorité d'un point de vue économique, peu de cultures de services ou facilitatrices du désherbage sont présentes dans la rotation (ex : pas de luzerne, pas d'association de cultures, peu de couvert, etc.)

Les systèmes dont le niveau de maîtrise est **limité** se révèlent être des systèmes faisant face à de fortes contraintes pédoclimatiques (sols séchants et/ou hydromorphes), où les cultures d'été sont rares et les binages inexistantes ; les possibilités d'intervention étant limitées, le coût de mécanisation et de main d'œuvre l'est aussi. Dans le groupe au niveau de maîtrise intermédiaire, les cultures de service sont très peu nombreuses, voire absentes, et la stratégie repose essentiellement sur les interventions **mécaniques** à l'interculture puis en culture ; le coût est le plus élevé. À l'inverse, les systèmes obtenant une bonne maîtrise de la biomasse adventice, et donc de la compétition exercée sur la culture, se caractérisent par une rotation très favorable : présence de cultures pluriannuelles, de cultures associées étouffantes, de cultures intermédiaires bien développées, en lien avec un contexte

pédoclimatique favorable ; ces systèmes comprennent également chacun des cultures aux périodes de semis variées (en moyenne 3 à 4 par système) ; la stratégie a été qualifiée de **prophylactique** car les pratiques préventives s'y expriment plus que dans les autres cas (qui y ont aussi recours). Enfin, les stratégies des systèmes obtenant une bonne maîtrise de la densité d'adventices ont été qualifiées **d'adaptatives**, les pratiques variant entre les parcelles et années d'observation. L'analyse économique des pratiques des différents groupes montre que les stratégies adaptatives et préventives s'appuyant sur la diversité des cultures sont les moins coûteuses en charges de mécanisation et en main d'œuvre, tout en assurant une bonne maîtrise des adventices. Attention toutefois, cette approche économique ne prend pas en compte les différences de marges entre les cultures et les rotations.

L'analyse transversale tout comme les analyses individuelles par site montrent l'importance de la conception d'une stratégie de gestion des adventices faisant intervenir divers leviers et tenant compte du contexte pédoclimatique, du matériel disponible et des possibilités d'intervention. Le raisonnement de la rotation (introduction de cultures pluriannuelles fauchées, équilibre entre périodes d'implantation, recherche de la couverture maximale du sol en culture) et le labour apparaissent comme les piliers de la construction d'une stratégie efficace de gestion des adventices dans des systèmes de grande culture en AB. Dans une moindre mesure, les autres interventions de travail du sol à l'interculture (déchaumages, faux-semis...), les couverts d'interculture et le désherbage mécanique sont des leviers complémentaires, mais à envisager en tenant compte des charges supplémentaires qu'ils engendrent.

2.2 Gérer les éléments fertilisants à l'échelle du système de culture

Il ressort du suivi des flux d'azote sur les différents sites du réseau que l'insertion de légumineuses dans les systèmes de grande culture en AB reste le principal levier à activer pour augmenter les fournitures en azote du sol. Les fournitures peuvent être élevées derrière un précédent légumineuses, voire très élevées dans le cas de légumineuses pluriannuelles (en moyenne +30 kg N/ha de plus que derrière un précédent légumineuses annuelles) (Figure 2).

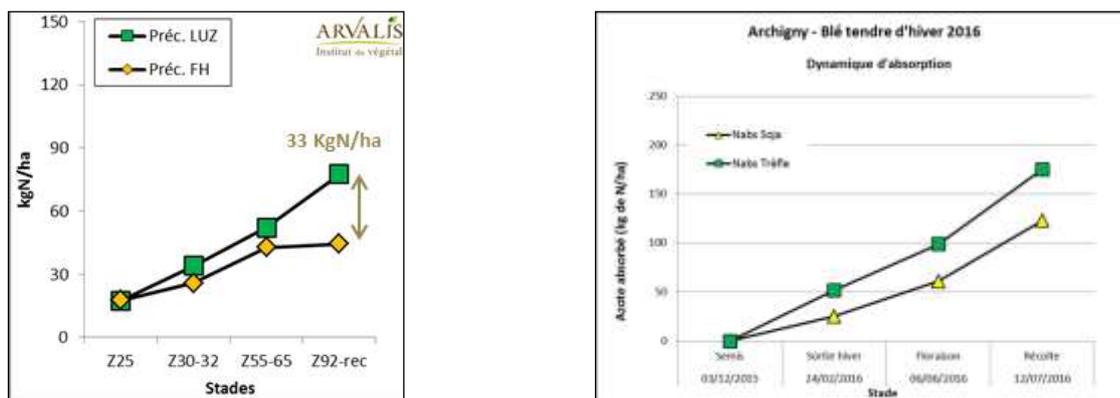


Figure 2 : Comparaison de cinétiques d'absorption de l'azote par le blé tendre d'hiver en fonction de différents précédents culturaux (Sources : Arvalis, FRAB NA). À gauche : essai de Boigneville, campagne 2010-2011. Précédent du blé : luzerne (Préc LUZ) ou féverole d'hiver (Préc FH). À droite : essai d'Archigny, campagne 2015-2016. Précédent du blé : soja ou trèfle violet.

Cet azote apporté par les légumineuses peut ne pas être entièrement valorisé par la culture suivante. En effet, en cas de dynamique de minéralisation rapide, notamment dans le cas de retournement automnal de luzerne, les fournitures d'azote au sol peuvent dépasser les capacités d'absorption de la culture qui suit. Une conséquence est l'aggravation du risque de pertes d'azote par lixiviation lors de l'interculture. Il apparaît donc nécessaire de concevoir des successions de cultures plus aptes à valoriser les fournitures azotées des légumineuses, par exemple en insérant des couverts en interculture courte entre légumineuse et culture d'hiver, ou en faisant suivre les légumineuses de

cultures dont les besoins coïncident mieux avec les dynamiques de minéralisation de l'azote (par exemple du colza plutôt qu'un blé après retournement de luzerne, ou du maïs après retournement au printemps de trèfle ou luzerne). Ces adaptations des systèmes pour mieux valoriser l'azote disponible doivent s'inscrire dans une réflexion globale, en gérant les compromis pour tenir compte des autres enjeux (maîtrise des adventices en tête, faisabilité des itinéraires techniques...).

Les travaux sur les suivis de P et K confirment la diminution progressive des teneurs en P Olsen lorsqu'aucun apport de fertilisant n'est réalisé, ou s'ils sont insuffisants pour compenser les exportations par les cultures (Tableau 3). La situation semble moins critique pour le potassium échangeable, mais ce point reste à surveiller. Il convient donc d'être vigilant sur la fertilisation PK dans les systèmes de grande culture en AB. Néanmoins, les évaluations restent à affiner car plusieurs interrogations émergent de ces travaux :

- La validité du cadre reconnu en France du raisonnement de la fertilisation, issu du Comifer (Comité Français d'Étude et de Développement de la Fertilisation Raisonnée), est à vérifier pour les systèmes en AB ; des questions se posent en effet (i) sur l'estimation des exportations par les cultures conduites en AB (teneurs dans les parties exportées) et (ii) sur les seuils de déclenchement de la fertilisation PK dans les situations en AB.
- La valeur fertilisante des engrais organiques est souvent mal connue ; des questions sont aussi soulevées quant à la solubilité réduite du P apporté en présence de CaCO₃ dans le sol.

Les suivis conduits dans InnovAB confirment par ailleurs l'intérêt des observatoires de longue durée pour mettre en évidence des dynamiques à moyen et long terme et anticiper l'apparition de niveaux de fertilité P limitant dans les sols.

Tableau 3 : Évolution des teneurs moyennes en P Olsen (en mg/kg de P) des parcelles suivies dans le cadre d'InnovAB (Sources : structures responsables des dispositifs et ITAB).

	Parcelles	Teneurs initiales	Teneurs finales	Évolution des teneurs	Nombre d'années entre les teneurs initiales et finales
Parcelles fertilisées	Archigny R5*	12	11	-1	6
	Archigny R6*	12	9	-3	6
	Corbas diversité n répétition 1*	21	23	+2	3
	Corbas diversité n+1 répétition 1*	28	27	-1	3
	Corbas fertilité n répétition 1*	27	31	+4	3
	Corbas fertilité n+1 répétition 1*	26	26	0	3
	TAB G1	34	38	+4	3
	TAB C5	28	24	-4	3
	Dunière**	22	14	-8	10
	La Hourre	13	10	-3	14
Parcelles non fertilisées	La Saussaye***	50	45	-5	5
	Boigneville 233	40	25	-15	8
	Boigneville 236	31	19	-12	8
	Dunière**	22	10	-12	10
	La Hourre	12	9	-3	14
La Saussaye***	42	27	-15	5	

* Valeurs = une seule mesure par date de prélèvement ; ** Valeurs = moyennes sur 10 mesures par date de prélèvement ;

*** Valeurs = moyennes sur 3 mesures par date de prélèvement

Enfin, concernant les mesures du potentiel mycorhizogène sur trois systèmes en AB implantés dans des conditions pédoclimatiques contrastées, les travaux ont montré le caractère généralisable d'une relation négative entre le P disponible dans le sol (P Olsen) et le taux de mycorhization (cette relation a déjà été montrée par Dai *et al* (2014) en comparant des systèmes en AB avec des systèmes conventionnels). Cette relation négative a également été établie entre le P Olsen et le nombre d'arbuscules (résultat original qui n'avait jamais été recensé dans la littérature). Par ailleurs, si le taux de mycorhization est un indicateur simple et rapide à mettre en œuvre, sensible à partir d'un certain seuil de P distinguant les systèmes de cultures, il reste difficilement interprétable dans l'état actuel des connaissances, car il est la résultante d'interactions complexes entre de nombreux facteurs. Les systèmes favorables aux mycorhizes semblent être ceux combinant plusieurs techniques telles que l'insertion de légumineuses, des rotations longues et diversifiées, peu ou pas d'emploi de fertilisants, le non labour et l'utilisation en interculture d'espèces pouvant être mycorhizées (en limitant donc le recours aux brassicacées, non mycorhizées).

2.3 Évaluation des performances : les enseignements tirés

Les six systèmes de culture évalués *ex post* ont une contribution au développement durable satisfaisante avec des notes de 6 ou 5 sur 7 (Tableau 4). Parmi les points forts et les points faibles, il est observé de nombreuses convergences entre les systèmes. Certaines performances sont intrinsèques à l'AB, en lien avec l'absence de recours aux produits phytosanitaires, ou la contribution au développement de la filière biologique, par exemple. D'autres sont intrinsèques aux grandes cultures, comme la faible contribution à l'emploi, en comparaison avec des systèmes maraîchers, arboricoles ou viticoles. D'autres performances sont beaucoup plus variables d'un système à l'autre, notamment en lien avec un niveau de recours différent aux intrants (fertilisants et irrigation).

Tableau 4 : Multi-performance de 6 systèmes de cultures bio innovants du Réseau RotAB. Évaluation réalisée avec l'outil MASC 2.0 ; les résultats sont notés sur 4 pour tous les critères, à l'exception de la contribution au développement durable, intégrative, sur 7. Plus la note est élevée, meilleure est la performance.

	La Motte (95)	Dunière (26)	Archigny (86)	Boigneville (91)	La Hourre (32) Rot. longue	La Hourre (32) Rot. courte
Contribution au développement durable	6	5	6	6	6	6
Résultats économiques	3	3	3	4	4	4
Capacité productive à long terme	3	4	3	3	3	3
Contribution au développement économique	4	4	4	4	4	4
Satisfaction attente société	1	1	1	1	1	1
Satisfaction attente agriculteurs	4	4	4	3	3	4
Contribution à la qualité du milieu	3	4	4	4	3	3
Pression sur les ressources abiotiques	4	1	3	4	3	3
Conservation de la biodiversité	3	3	4	3	4	4

Les résultats économiques sont corrects, révélant des systèmes ayant une efficacité économique satisfaisante (rentabilité dégagée par intrants investis). Néanmoins, la rentabilité, évaluée en prenant des seuils régionalisés qui reflètent les potentiels agricoles locaux, varie de 2 (peu satisfaisant, pour La Hourre et La Motte) à 4 (satisfaisant, pour Boigneville). Ces résultats doivent être mis en lien avec la capacité des systèmes à produire sur le long terme : l'absence d'apports pouvant entraîner des baisses de rendement (ex. Boigneville), ou une mauvaise maîtrise du salissement (ex. La Motte) menacent, à moyen terme, les performances économiques des systèmes. Les contributions au développement économique du territoire sont, quant à elles, globalement satisfaisantes grâce à une qualité sanitaire

satisfaisante et la contribution au développement des filières biologiques, malgré des notes de qualité technologique plus variables, notamment en blé panifiable (ex. La Motte où l'absence d'apports azotés fournit des blés tendres parfois limités en protéines).

La satisfaction des attentes de la société évaluée par MASC est faible pour tous les systèmes analysés : les systèmes évalués étant en grande culture, que ce soit en bio ou en conventionnel, la contribution à l'emploi est limitée. Les rendements plus faibles en bio limitent aussi ces notes. Les notes de satisfaction des agriculteurs sont par contre bonnes, notamment grâce au critère de non exposition à des produits phytosanitaires de synthèse.

Les performances environnementales ressortent comme satisfaisantes :

- Le non recours aux produits phytosanitaires et aux fertilisants de synthèse contribue de façon positive à préserver la qualité de l'eau et de l'air. La préservation de la qualité du sol est globalement satisfaisante mais à surveiller en cas d'apports limités d'engrais organiques et de peu de cultures intermédiaires (risque de diminution de la matière organique), ou en cas de passages en conditions humides (risque de dégradation de la structure du sol).
- L'impact sur la consommation d'énergie est faible grâce au non recours aux engrais azotés, le surcroît de passages d'outils agricoles par rapport au conventionnel étant moins impactant que la fabrication d'engrais azotés de synthèse, énergivore. Cependant, certains engrais organiques tels que les déchets d'abattoirs (utilisés à La Hourre) sont des sources de consommation d'énergie. L'irrigation peut être très énergivore, outre la pression exercée sur la ressource en eau (cas de Dunière). L'efficacité énergétique (énergie produite sous forme de production agricole ramenée à l'énergie consommée pour la produire) varie fortement : elle est élevée pour les systèmes consommant peu d'énergie et dont le niveau de productivité reste satisfaisant (Boigneville, La Motte), plus faible en cas de consommation d'énergie importante (Dunière) et/ou de niveaux de productivité plus faibles (Archigny, La Hourre).
- Enfin, ces systèmes favorisent la conservation de la biodiversité inféodée aux milieux agricoles, grâce à la diversité des cultures dans les assolements, le non recours aux produits phytosanitaires, la présence de flores adventices souvent diversifiées et l'apport d'engrais organiques.

Si les contributions au développement durable sont bonnes, avec globalement des performances économiques et environnementales satisfaisantes, des points de vigilance ressortent sur le maintien du potentiel de production des parcelles : par exemple à La Hourre, le développement du salissement de certaines parcelles est cité, ainsi que des inquiétudes sur des baisses de teneurs en phosphore du sol et le fait que les restitutions de résidus de culture ne permettent pas de maintenir des teneurs en matières organiques suffisantes, entraînant des risques d'érosion sur coteaux. De même, le test d'un système « extrémisé » à Boigneville, s'affranchissant d'apports de fertilisants extérieurs, montre sa sensibilité au niveau de l'évolution de la fertilité des sols, puisque les exports par les cultures, dont la luzerne, ne sont pas suffisamment compensés ; les rendements des cultures les plus exigeantes sont impactés. Ces points de vigilance sont d'importance, car les possibles faiblesses du potentiel agronomique à moyen et long termes sont susceptibles de menacer les autres performances du système de culture.

Conclusions

Afin d'accompagner les producteurs dans le changement de pratiques agronomiques, il est nécessaire d'évaluer la pertinence des stratégies et des techniques non seulement au regard de la gestion des sols (indicateurs physico-chimiques et biologiques, structure) et de la maîtrise des adventices (quantité et composition de la flore), mais également d'évaluer leurs performances agronomiques (rendement et

qualité), environnementales (consommation d'énergie et émissions de GES), et socio-économiques (temps de travail, charges opérationnelles, de mécanisation et de main d'œuvre, marge nette). La mise en œuvre par les agriculteurs de nouvelles stratégies ne se fera que si elles sont performantes d'un point de vue agronomique et socio-économique. Cette évaluation multicritère est donc indispensable pour renseigner les agriculteurs en AB ou se posant la question du passage à l'AB.

Le projet InnovAB a permis de progresser sur l'acquisition de connaissances en ce sens, grâce au suivi et à l'évaluation de divers systèmes de cultures innovants, expérimentés sur de longues durées.

Les travaux menés sur l'évolution de la flore adventice montrent l'importance de construire une stratégie qui s'appuie sur différents leviers, cohérents entre eux, et en adéquation avec le contexte pédoclimatique, économique et floristique. Les évaluations menées montrent l'importance de stratégies ayant un large recours aux actions préventives, qui ont aussi le mérite d'avoir des coûts limités de mise en œuvre (charges mécaniques et main d'œuvre). Leur sensibilité aux accidents climatiques réclame néanmoins de l'attention pour garantir les implantations et le développement de biomasses suffisantes (cultures de service ou productions) pour concurrencer les adventices. Poursuivre l'acquisition de références techniques en la matière est donc d'importance (choix variétal, associations d'espèces, techniques d'implantation...). Les stratégies mécaniques évaluées dans le projet montrent une certaine efficacité ; leur coût de mise en œuvre est élevé mais compensé par une présence accrue de cultures de vente, mais aux dépens de performances environnementales ; elles sont elles aussi soumises aux aléas climatiques et dépendent des types de sols et possibilités de passages répétés.

Les travaux conduits sur la fertilité confirment que la gestion de l'azote dans les systèmes de grande culture en AB se pilote par l'insertion de légumineuses (annuelles, pluriannuelles comme la luzerne ou le trèfle) dans la rotation, de façon à augmenter les fournitures d'azote pour les cultures du système ; l'apport d'engrais azotés organiques vient en complément, si nécessaire et si les conditions permettent de le valoriser. Un suivi fin des flux d'azote est à poursuivre sur ces expérimentations de longue durée pour aider à la conception de rotations performantes, à l'échelle du système, optimisant la valorisation de l'azote symbiotique issu des légumineuses, tout en limitant les pertes par lixiviation. Mais la fertilité dans ces systèmes ne saurait se limiter à cet élément azote. Il est particulièrement important de raisonner la fertilisation PK, de surcroît dans les systèmes de cultures sans élevage, pour ne pas puiser dans les stocks du sol. Les travaux ont de plus souligné la nécessité de produire des références adaptées à l'AB pour le raisonnement de cette fertilisation PK (exportations par des cultures en AB, pertinence des teneurs seuils). L'étude menée sur le potentiel mycorhizogène du sol montre elle aussi le besoin de poursuite de recherches, pour construire des systèmes de culture favorisant la mise en place de symbioses mycorhiziennes et évaluer l'impact sur la nutrition phosphatée des cultures.

Les approches multicritères développées dans le projet font globalement ressortir des performances satisfaisantes en termes environnementaux et économiques des systèmes de grande culture en AB testés dans InnovAB. Elles confirment aussi l'importance du potentiel agronomique de ces systèmes et, surtout, la prévision de leur évolution à long terme. Ainsi, concernant la gestion des adventices, il ressort qu'il ne faut pas se laisser dépasser, ce qui est cohérent avec le principe de privilégier le préventif face au curatif, sans s'interdire le recours à du désherbage manuel dans des situations bien précises (gestion de vivaces et pérennes notamment). Concernant la fertilité des sols, si la gestion de l'azote trouve des solutions par l'introduction privilégiée de légumineuses dans le système, sous réserve d'une bonne maîtrise technique, les carences potentielles pour d'autres éléments sont clairement à surveiller et, surtout, à anticiper.

De justes équilibres et des compromis sont donc à construire entre gestion du potentiel agronomique (adventices, fertilité) et critères économiques, sociaux et environnementaux. Par exemple, la luzerne en tête de rotation est un atout précieux pour la gestion des adventices, sous réserve que son implantation et son développement soient correctement maîtrisés ; elle permet aussi un apport conséquent d'azote dans le système de culture, mais les exports qu'elle peut amener sont aussi susceptibles d'appauvrir les

sols en éléments minéraux. Limiter les exports et prévoir des restitutions sont à considérer d'un point de vue économique sur le court et le long terme, à l'échelle de la rotation. Au-delà de cet exemple, il ressort qu'une difficulté à gérer dans la conception des systèmes de culture adaptés est la place des plantes et des cultures rendant des services agronomiques (leviers agro-écologiques), l'évaluation de leurs impacts (agronomiques, économiques) étant plus complexe car à l'échelle de la rotation.

Les trois approches développées dans InnovAB (évolution de la flore, de la fertilité, évaluation des performances) se rejoignent pour souligner l'intérêt de la mobilisation de leviers agro-écologiques. Les clés de décision pour les activer et les combiner restent à travailler, pour aider les agriculteurs à construire des systèmes durables, mais aussi capables de faire face aux aléas climatiques.

En termes de perspectives, un nouveau projet est programmé dans le cadre du volet DEPHY EXPE d'Ecophyto (2019-2024), pour poursuivre l'acquisition et la capitalisation de données sur l'évolution de la flore adventice des systèmes de culture du Réseau RotAB, auquel de nouveaux sites se sont ajoutés. Il est prévu d'y évaluer l'impact des systèmes de culture et celui de pratiques plus ciblées, en particulier celles relevant de la lutte par compétition (optimisation de la couverture du sol).

Un enjeu supplémentaire, d'importance, se situe au niveau du transfert de solutions alternatives, issues des références acquises en AB, vers une agriculture conventionnelle économe en intrants

Remerciements

L'ITAB remercie l'ensemble des partenaires du projet, destinataires de fonds CASDAR (et/ou Ecophyto via le projet Réseau AB Dephy) ou associés, les acteurs de chaque site, les experts thématiques, les agriculteurs et structures accueillant les essais.

Références bibliographiques

Agence Bio, 2018. Les Chiffres de la bio en France. Disponible sur <http://www.agencebio.org/la-bio-en-france>

Casagrande M., Métais P., Celette F., et al, 2017. Gérer les adventices dans les systèmes de grandes cultures biologiques—Retour d'expériences du Réseau RotAB. ITAB—Réseau RotAB. 4. Available online at http://www.itab.asso.fr/downloads/colloque-GC-2017/brochure-adventices-rotab_nov17-min.pdf

Casagrande M., Fourrié L., Boissinot F., Bouttet D., Burel E., Castel L., Celette F., Champion J., de Cordoue AL., Desclaux D., Dupont A., Le bras M., Quirin T., Fontaine L., 2018. The RotAB network: a set of 12 long term experiments on organic arable cropping systems. Submitted to 2nd International GRAB-IT workshop 2018 'Organic farming and agro-ecology as a response to global challenges' June 27 to 29, 2018, Capri (NA), Italy

Dai M., Hamel C., Bainard L.D., Arnaud M.S., Grant C.A., Lupwayi N.Z., Malhi S.S., Lemke R., 2014. Negative and positive contributions of arbuscular mycorrhizal fungal taxa to wheat production and nutrients uptake efficiency in organic and conventional systems in the Canadian prairie. *Soil Biology and Biochemistry*, 74, 156-166

Fontaine L., Fourrié L., Garnier J.F., Mangin M., Colomb B., Carof M., Aveline A., Prieur L., Quirin T., Chareyron B., Maurice R., Glachant C., Gouraud J.P., 2012. Connaître, caractériser et évaluer les rotations en systèmes de grandes cultures biologiques. *Innovations Agronomiques* 25, 27-40.

Fontaine L., Sicard H., Gainche J., et al, 2014. Boîte à outils RotAB module adventices : inventaires des mesures et observations permettant de caractériser la flore adventice et son évolution. Disponible sur <http://www.itab.asso.fr/activites/rotab-concevoir-dispositif.php>

Fontaine L., Celette F., de Cordoue A.-L., Métais P., Cordeau S., Vacher C., Aveline A., Fourrié L., Peigné J., Boissinot F., Castel L., Champion J., Prieur L., Desclaux D., Quirin T., Le Bras M., Bouttet D., Dupont A., Coquil X., Casagrande M., 2018. Mise en réseau d'expérimentations de longue durée de systèmes de grande culture en agriculture biologique : apports méthodologiques et enseignements pour des systèmes très économes en phytosanitaires. *Innovations Agronomiques* 70, 317-330.

Frottier C., Métais P., Piraux F., Celette F., Vacher C., Aveline A., de Cordoue A.L., 2018. Evaluer les performances de maîtrise des adventices de systèmes de grande culture biologique dans une démarche d'analyse multi-sites et pluricritère. In: Phloème.

ITAB, 2015. Maîtriser les adventices les plus problématiques en GC en AB : pistes et actions à mener. 8 pages. Consultable sur www.itab.asso.fr

Métais P., Vacher C., Fontaine L., Vuillemin F., 2018. Gérer les adventices, un enjeu majeur en AB. Perspectives Agronomiques 459, 36-39.

O'Hagan A., Buck C.E., Daneshkhah A., Eiser J.E., Garthwaite P.H., Jenkinson D.J., Oakley J.E., Rakow T., 2006. Uncertain Judgements: Eliciting Expert Probabilities. Chichester: Wiley.

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



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

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL