



Connaître, caractériser et évaluer les rotations en systèmes de grandes cultures biologiques

Laurence Fontaine, L. Fourrié, J.F. Garnier, M. Mangin, Bruno Colomb, Matthieu Carof, A. Aveline, L. Prieur, T. Quirin, B. Chareyron, et al.

► To cite this version:

Laurence Fontaine, L. Fourrié, J.F. Garnier, M. Mangin, Bruno Colomb, et al.. Connaître, caractériser et évaluer les rotations en systèmes de grandes cultures biologiques. *Innovations Agronomiques*, 2012, 25, pp.27-40. hal-01209108

HAL Id: hal-01209108

<https://hal.science/hal-01209108>

Submitted on 29 May 2020

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

Connaître, caractériser et évaluer les rotations en systèmes de grandes cultures biologiques

Fontaine L.¹, Fourrié L.¹, Garnier J.F.², Mangin M.³, Colomb B.⁴, Carof M.⁵, Aveline A.⁶, Prieur L.⁷, Quirin T.⁸, Chareyron B.⁹, Maurice R.¹⁰, Glachant C.¹¹, Gouraud J.P.⁸

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

² ARVALIS – Institut du végétal, Station expérimentale, 91720 Boigneville

³ ARVALIS – Institut du végétal, 2485, route des Pécolets, 26800 Etoile-sur-Rhône

⁴ INRA Toulouse, UMR 1248 AGIR, B.P. 52627 Auzeville. 31326 Castanet Tolosan

⁵ AGROCAMPUS OUEST, UMR 1069 SAS, 65 rue de Saint-Brieuc - CS 84215, 35042 Rennes Cedex

⁶ Groupe ESA. Laboratoire d'écophysiologie végétale et agroécologie, 55 rue Rabelais, 49007 Angers

⁷ CREAB Midi-Pyrénées, Route de Mirande, 32 020 Auch Cedex 09

⁸ Agrobio Poitou-Charentes, Centre Saint Joseph, BP 22, 79500 Melle

⁹ Chambre d'agriculture de la Drôme, 95, avenue Georges Brassens, 26500 Bourg-les-Valence

¹⁰ Chambre d'agriculture des Pays-de-la-Loire, 9 rue André Brouard CS 70510, 49105 Angers Cedex 02

¹¹ Chambre d'agriculture de Seine-et-Marne, 418, rue Aristide Briand, 77350 Le Mée-sur-Seine

Correspondance : laurence.fontaine@itab.asso.fr

Résumé

Le choix de la rotation des cultures en grandes cultures biologiques spécialisées (sans élevage) est le premier levier activé pour maîtriser de nombreux problèmes, avant tout techniques (maintenir la fertilité des sols, maîtriser les bio-agresseurs, adventices en tête), mais aussi économiques (assurer le revenu de l'agriculteur). Diverses démarches développées dans le cadre du projet RotAB (Casdar 2008-2010) ont permis de mieux connaître les rotations pratiquées en grande culture biologique, de les caractériser et les évaluer. Il ressort que leur conception dépend de nombreux facteurs, avant tout pédoclimatiques (cultures possibles, potentiels de rendement, possibilité d'interventions mécaniques...) et économiques (existence et pérennité des débouchés). Si l'alimentation azotée et la maîtrise de la flore adventice demeurent les principales préoccupations agronomiques des producteurs en AB, la disponibilité en phosphore risque d'être le prochain facteur limitant à moyen et long terme en matière de fertilité des sols et de durabilité de ces systèmes.

Mots-clés : rotation, agriculture biologique, système de culture, cas-type, évaluation multicritère.

Abstract: Knowing, characterizing, and assessing systems of organic crop rotations

Choice of crop rotations in organic stockless cropping systems is the first leverage used to manage technical issues (to maintain soil fertility, to control pest and weeds), but also economic issues (to insure income). RotAB project (Casdar funding 2008-2010) has implemented complementary approaches to better know, characterize and assess arable crop rotations. Their conception depends on numerous factors such as type of soil and climate (on which depend type of crops, yield potential, possibility of mechanical weeding...), or economic context (existence of outlets and continuity of markets). If nitrogen supply and weed control are the most important agronomic issues of organic farmers in stockless cropping systems, phosphorus availability seems like to be the next important one for soil fertility and system sustainability.

Keywords: rotation, organic farming, cropping system, multicriteria assessment.

1. Introduction

Les rotations ont pour objectif d'assurer des précédents favorables aux cultures de vente afin de dégager une marge convenable pour l'agriculteur. Elles doivent également préserver ou améliorer la fertilité du milieu, tout en limitant les impacts environnementaux.

La question du choix des rotations en agriculture biologique (AB) se pose systématiquement dès la conversion. Or, très peu d'études permettent d'asseoir en ce domaine les conseils susceptibles d'aider les agriculteurs. Ce projet a ainsi été élaboré afin de mieux connaître les rotations pratiquées ou à recommander en AB. L'hypothèse de travail est que le choix des rotations, complété par la structuration spatiale des cultures (assolement) dans ces systèmes de production est le moyen-clé pour maîtriser de nombreux problèmes, avant tout techniques (maintenir la fertilité des sols, maîtriser les bio-agresseurs, adventices en tête), mais aussi économiques (assurer le revenu de l'agriculteur). L'enjeu est d'autant plus fort pour des systèmes de grandes cultures spécialisés que se pose la question de leur pérennité, sans ou avec peu d'apports organiques extérieurs, en termes de maintien de la fertilité du sol.

Dans ce contexte, les objectifs du projet étaient de mieux connaître les rotations pratiquées par les agriculteurs biologiques en grandes cultures (GC) sans élevage, de les évaluer en approche multicritère et d'en identifier les forces et les faiblesses en vue de formuler des recommandations quant à l'évolution des systèmes de GC biologiques à l'avenir. Le projet RotAB « *Peut-on construire des rotations et assolements qui limitent les impacts environnementaux tout en assurant une viabilité économique de l'exploitation ?* » a bénéficié de l'appui financier du Casdar. Il s'est déroulé de janvier 2008 à décembre 2010. Piloté par l'ITAB, RotAB a rassemblé 11 partenaires représentant le développement, la recherche et la formation : Arvalis – Institut du végétal, INRA UMR Agir (Toulouse), ESA Angers, AgroCampusOuest, ISARA Lyon, Chambres d'Agriculture de la Drôme, de Seine-et-Marne et des Pays-de-la-Loire, Agrobio Poitou-Charentes, CREAB Midi-Pyrénées et Bio Centre.

2. Structuration du programme : connaître, caractériser, évaluer

Trois principales actions ont permis de mieux comprendre la conception des systèmes de grande culture biologiques sans élevage. La première portait sur l'analyse des rotations pratiquées en parcelles agricoles dans les régions partenaires ; la seconde sur la mise en réseau de dispositifs expérimentaux de longue durée testant des rotations innovantes qui a permis, en particulier, d'apprécier l'évolution de la fertilité des sols dans ces systèmes ; la troisième concernait l'évaluation multicritère de ces rotations et systèmes de culture pratiqués en AB.

2.1. Connaissance et caractérisation des rotations pratiquées par les agriculteurs biologiques

Initialement prévu dans les cinq régions partenaires de RotAB (Centre, Ile-de-France, Pays de la Loire, Poitou-Charentes et Rhône-Alpes), un inventaire des rotations pratiquées en GC bio a été réalisé à l'échelle de la France métropolitaine. Une typologie des rotations a été proposée sur cette base.

Après cette phase d'inventaire, afin d'analyser plus finement les rotations, des cas-types « GC biologiques sans élevage » ont été construits : 8 cas-types pour 11 rotations ont été définis. Ils ont été bâtis à partir d'enquêtes menées auprès de 37 agriculteurs des cinq régions partenaires, de bases de références existantes (Chambres d'Agriculture, ARVALIS – Institut du Végétal...) et, surtout, sur la base d'échanges approfondis avec les experts régionaux. Les 11 rotations décrites s'inscrivent dans un contexte précis. Elles sont cohérentes avec les débouchés locaux et le contexte pédoclimatique, ainsi qu'avec la surface, la main d'œuvre et le parc matériel de l'exploitation-type correspondante. Elles sont analysées en termes techniques et économiques, mais aussi agronomiques et environnementaux.

2.2. Mise en réseau de dispositifs expérimentaux de type « système ». Etude de l'évolution de la fertilité des sols.

Le « réseau RotAB » consiste en cinq dispositifs expérimentaux (Figure 1), certifiés en agriculture biologique, étudiant des systèmes de grandes cultures spécialisés, sans élevage, voire sans apports organiques extérieurs. Ils ont en commun 1) de privilégier la présence de culture de vente à haute valeur ajoutée (blé, soja, tournesol, à destination de l'alimentation humaine) dans un objectif de rentabilité économique, 2) de gérer des contraintes agronomiques fortes (fertilité, adventices) se traduisant notamment par l'introduction accrue des légumineuses dans les rotations.



Figure 1 : Localisation des dispositifs expérimentaux du réseau RotAB

Au-delà des suivis réalisés individuellement sur chaque site, leur mise en réseau vise à partager méthodologies, résultats et interprétations. L'objectif est de trouver des réponses communes, mais également spécifiques à chaque site, aux problématiques soulevées par ce type de système de culture.

Un descriptif précis de chaque dispositif a visé la formalisation des objectifs et des règles de décision activées par chacun, permettant d'avancer sur la conception de systèmes de culture en GC biologiques sans élevage. En termes de résultats, la mise en réseau visait la mise en commun de références sur l'évolution de la fertilité des sols (phosphore, potassium, magnésium et matière organique).

2.3. Evaluation multicritère des rotations, analyse de leurs atouts et contraintes techniques, agronomiques, économiques et environnementaux

En plus de l'analyse comparée des cas-types RotAB (repères techniques, agronomiques, économiques et environnementaux), une évaluation multicritère par agrégation d'indicateurs a été menée, qui a conduit au développement de MASC-AB. Ce travail a été conjointement entrepris dans le cadre des programmes Casdar RotAB et PSDR 3 Midi-Pyrénées CitodAB. Le modèle générique d'évaluation de système de culture MASC a été choisi après une étape d'identification puis d'analyse critique des outils existant au niveau européen (Carof *et al.*, 2012). Le modèle a été adapté de façon à prendre en compte les préoccupations associées aux systèmes de GC bio. Un collectif de conseillers agricoles bio a, pour cela, été sollicité au sein des deux programmes (évaluation puis pondération de chaque indicateur, définition de valeurs seuils...). En particulier, un arbre de décision agronomique a été développé. MASC-AB a été appliqué à deux jeux de cas, les 8 cas-types/11 rotations issus de RotAB d'une part, 44 systèmes de cultures de Midi-Pyrénées d'autre part. L'analyse multicritère ainsi réalisée visait à mettre en avant traits de forces et faiblesses des systèmes étudiés (Colomb *et al.*, soumis).

3. Résultats obtenus

3.1. Connaissance et caractérisation des rotations pratiquées par les agriculteurs biologiques

3.1.1 Inventaire des rotations pratiquées en GC bio

Cet inventaire a conduit à la réalisation d'une typologie simple pour classer les rotations recensées, dont quelques exemples sont exposés dans le Tableau 1.

Régions	Exemples de rotations	durée de la rotation (années)	% de culture de printemps (hors luzerne)	% de cultures sarclées	%blé	% légumineuses
Rotation à tête de rotation pluriannuelle						
Lorraine	luz-luz-luz-blé-cerpro-blé-triti	7	0,0%	0 %	28 %	57 %
Bourgogne, sols moyens	luz-luz-bléH-bléP-poisP-bléH-orgeH	7	40 %	0 %	33 %	43 %
Franche Comté	luz-luz-luz-blé-triti-féveroleP-blé-épeautre-maïs	9	33 %	11 %	22 %	44 %
Champagne Ardenne	luz-luz-luz-blé-poisP-blé-triti-cerpro-orgeP	9	33 %	0 %	22 %	56 %
Bourgogne, argiles de plaines	luz-luz-blé-blé-soja-blé-poisP-colza-blé-tournesol	10	38 %	20 %	40 %	40 %
Rhône Alpes, vallée du Rhône sec	luz-luz-luz-blé-blé-tournesol-blé-seigle-trèfle-blé-blé-triticales	12	11 %	17 %	42 %	33 %
Rotation sans tête de rotation pluriannuelle						
Rhône Alpes, vallée du Rhône irriguée	maïs-soja-blé	3	67 %	67 %	33 %	33 %
Picardie	féveroleP-blé-triti-maïs	4	50 %	25 %	25 %	25 %
Franche Comté	soja-blé-triti-épeautre	4	25 %	25 %	25 %	25 %
Nord Pas de Calais	lég-triti-féveroleP-blé-seigle	5	40 %	20 %	20 %	40 %

Abréviations : luz - luzerne, cerpro - association céréale protéagineux, P - printemps, H - hiver, triti - triticales, lég - légume plein champ.

Tableau 1 : Exemples et caractérisation de quelques rotations pratiquées en GC biologiques

Le caractère le plus marquant est la présence ou non d'une tête de rotation pluriannuelle comportant une ou des légumineuses : luzerne, trèfle, sainfoin... Ces cultures fourragères présentent de nombreux avantages agronomiques : apport d'azote atmosphérique dans le système, interruption du rythme des cultures participant à « casser » les cycles des adventices, ravageurs et maladies, structuration du sol grâce à leurs systèmes racinaires étendus. Le principal frein à leur mise en place est cependant leur valorisation. En région d'élevage la proximité d'ateliers animaux permet la valorisation en foin ; la présence d'usines de déshydratation dans certaines régions favorise largement la culture de la luzerne. Certains se contentent de broyer la luzerne, faute de débouché, préférant la maintenir pour ses intérêts agronomiques. Les rotations avec culture fourragère pluriannuelle sont en général assez longues : plus de 7 ans le plus souvent, jusqu'à 12 ans.

Les rotations n'ayant pas recours à une tête de rotation fourragère pluriannuelle sont plus courtes, en moyenne de 3 à 6 ans. Elles sont en général présentes sur les sols à potentiels de production moyens à élevés. Les cultures de vente les plus rémunératrices y sont bien représentées (blé, maïs, soja...) ainsi que les cultures légumières de plein champ (ex : betterave, pomme de terre). Les besoins

importants en azote de ces systèmes de culture impliquent des apports de matières fertilisantes (amendements, engrais organiques), généralement coûteux. L'utilisation d'engrais verts (légumineuses cultivées en interculture) se développe en complément. A noter que pour une partie de ces systèmes, une luzerne (ou autre fourragère pluriannuelle) peut être insérée ponctuellement lorsque le développement des adventices et plus particulièrement des vivaces devient trop important.

Les autres critères de classement des rotations qui sont ressortis sont :

- le pourcentage de légumineuses, beaucoup plus important qu'en conventionnel (de l'ordre de 40 à 55% pour les rotations à tête de rotation pluriannuelle, de l'ordre de 30 à 40% pour les autres);
- le pourcentage de cultures sarclées (écartement large permettant du binage), à relativiser selon le climat des régions (ressuyage lent des sols impliquant des fenêtres d'intervention réduites);
- le pourcentage de cultures de printemps, lié à l'alternance de cultures d'hiver et de printemps (et/ou été), à relativiser aussi en fonction du climat (semis de printemps favorisés ou non).

L'alternance des cultures hiver/printemps, ainsi que la présence de cultures sarclées sont en général mieux respectées dans les rotations sans tête de rotation fourragère pluriannuelle. La fonction « nettoyante » vis-à-vis des adventices des têtes de rotation fourragères pluriannuelles est visiblement remplacée par des interventions mécaniques accrues et par l'alternance des cultures qui participe à casser le cycle des adventices.

3.1.2 Analyse de cas-types de rotations en GC biologiques sans élevage

7 rotations types ont été comparées (Tableau 2), sur 11 au total ; 4 ont été écartées car très semblables à d'autres.

	Durée de la rotation (années)	luzerne	irrigation	rotation
Centre C 1	8	avec	sans	luzerne (3 ans) - blé - triticales - féverole P - blé - orge H
Centre C2	8	avec	avec	luzerne (2 ans) - blé - betterave rouge - blé - maïs grain - féverole H - blé
Ile-de-France IDF1	10	avec	sans	luzerne (2 ans) - blé - triticales - avoine - féverole P - blé - orge P - jachère trèfle blanc - blé
Ile-de-France IDF2	6	sans	sans	féverole P - blé - maïs grain - triticales/pois fourrager - blé - triticales
Poitou Charentes PC	9	avec	avec	luzerne (3 ans) - blé - maïs grain - féverole H - triticales - tournesol - orge H
Pays de la Loire PDL	5	sans	sans	féverole P - blé - tournesol - blé - maïs grain
Rhône Alpes RA	3	sans	avec	soja - blé - maïs grain

Tableau 2 : Détail des rotations étudiées

La comparaison des marges à la rotation sur les différents cas-types ne permet pas de mettre en avant un type de rotation en particulier (Figure 2). Néanmoins, quelques tendances se dégagent. En raison de charges plus importantes et de rendements parfois moins bons, la rentabilité des rotations courtes sans luzerne et non irriguées atteint rarement des niveaux élevés. L'irrigation apporte une plus-value car la couverture des besoins en eau permet d'assurer les rendements en conditions sèches. Elle permet également dans certains cas d'intégrer du maïs, culture d'été plus rentable que le tournesol. Les rotations longues avec luzerne sont moins dépendantes des intrants (fertilisants et carburant). Dans un contexte de prix d'intrants élevés, la présence de luzerne permet d'amortir la baisse des marges. Cette légumineuse ne nécessite aucun apport d'azote, en restitue aux cultures suivantes, et demande peu d'interventions mécaniques.

En moyenne, sur les rotations étudiées, le temps de travail à l'hectare est compris entre 3 et 7 h/ha (Figure 3). Les rotations avec luzerne exigent moins de main d'œuvre. Cette culture, à condition que la récolte soit réalisée par entreprise (NB : ce qui n'est pas le cas pour IDF 1), demande peu de temps de travail, la préparation du sol avant son implantation étant très réduite. En revanche, les rotations avec irrigation sont plus gourmandes en temps. Cette technique présente un surcroît de travail allant jusqu'à

plus de deux heures par hectare sur la ferme type Rhône-Alpes. La gestion des temps de travaux d'irrigation sera une difficulté dans ce cas car celle-ci est concentrée pendant les deux mois d'été. Cette notion de « pointe de travail » reste un enjeu important pour les agriculteurs, qu'ils soient en bio ou non.

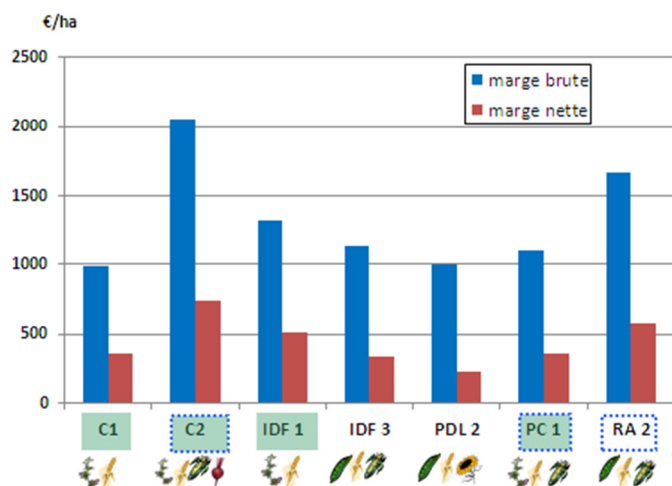


Figure 2 : Marges brutes et nettes à la rotation avec aides (hypothèses : rendements moyens, prix moyens)

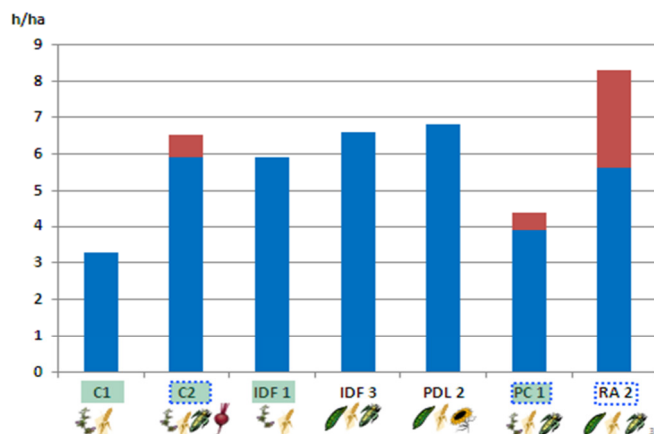


Figure 3 : Temps de travail à l'hectare (temps de traction + temps d'irrigation)

En matière d'approche environnementale, l'analyse s'est limitée à une comparaison des consommations d'énergie primaire et des émissions de gaz à effet de serre (GES). Les limites méthodologiques rencontrées ne nous ont permis que de conclure sur de grandes tendances, à confirmer.

Les différences entre les différents types de rotation sont faibles à l'hectare. A noter que dans les rotations avec luzerne, le pic de consommation d'énergie pris en compte pour les entreprises récoltant la luzerne est compensé par le faible nombre de passage à la rotation (gestion de la fertilité et de l'enherbement facilité par la luzerne). Par contre, quelle que soit l'unité fonctionnelle utilisée (tonne ou hectare), la présence d'irrigation (pompes électriques uniquement dans notre étude) entraîne des augmentations importantes de consommation d'énergie. Du côté des émissions de GES, les écarts observés sont directement liés à la dépendance à l'azote. Avec des quantités d'azote apportées à l'hectare plus conséquentes, l'impact des rotations courtes sans luzerne sera généralement plus important. Si, en agriculture conventionnelle, le poste majeur est la fabrication des engrais (notamment azotés), en AB, la consommation de carburant et la dénitrification de l'azote dans le sol sont les postes les plus importants dans les émissions agricoles de GES, qui restent globalement plus faibles.

En résumé, on peut dire que le contexte pédoclimatique et économique local conditionne grandement la réussite économique de chaque rotation (potentiel de rendement, débouchés spécifiques). L'analyse des marges nettes avec aides, situées entre 220 et 730 €/ha, ne permet pas de dégager des conclusions claires quant à la rentabilité comparée des rotations longues ou courtes. Cependant, sur les cas-types étudiés, les rotations longues avec luzerne apparaissent moins sensibles aux variations des contextes de prix de vente ou de prix d'achat des intrants. Ce type de rotation présente également d'autres atouts comme un temps de travail à l'hectare plus faible (si récolte de la luzerne effectuée par Entreprise de Travaux Agricoles, dont le coût est compensé par la valorisation), une moindre dépendance vis-à-vis de l'azote à l'échelle de la rotation, ou encore la maîtrise facilitée de l'enherbement. Néanmoins, l'insertion de la luzerne dans les rotations reste extrêmement dépendante de l'existence de débouchés et donc du contexte local.

3.2. Mise en réseau de dispositifs expérimentaux de type « système ». Etude de l'évolution de la fertilité des sols.

3.2.2 Echanges de savoir-faire et partage des méthodologies

La mise en réseau des dispositifs expérimentaux a avant tout permis à leurs responsables d'échanger sur les réussites et échecs des rotations et systèmes testés. Le traitement collectif des questions posées ont permis d'avancer sur la conception des systèmes étudiés.

MENU 1 (le menu de base)
Objectifs : Connaître la situation culturale • Apprécier l'hétérogénéité de la parcelle : typologie de l'horizon de surface à dire d'expert • Connaître le type de sol : analyse granulométrique (avec décalcification) et état calcique (pH eau, pH KCl, Calcaire total) Application : un essai annuel dans une parcelle chez un agriculteur
MENU 2 (=menu 1 complété)
Objectifs : Connaître le sol d'une parcelle • Appréhender l'hétérogénéité de la parcelle : menu 1 + cartographie des rendements d'une culture + se référer à une carte des sols disponible • Connaître le type de sol et sa structure : menu 1 + profil cultural • Connaître le statut organique (horizon de surface) : teneur en C et MO, azote organique • Connaître les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface : teneur en P Olsen, CEC et cations échangeables (K, Mg, Ca) • Caractériser l'activité biologique du sol : minéralisation du C et du N en conditions contrôlées (28 jours) Application : un essai pluriannuel dans une même parcelle (caractérisation initiale + suivi)
MENU 3 (=menu 2 complété)
Objectifs : Suivre l'évolution de la fertilité du sol d'une parcelle • Appréhender l'hétérogénéité de la parcelle : idem menu 2 (+ carte de résistivité du sol) • Connaître le type de sol et sa structure : menu 2 + profil pédologique • Connaître le statut organique (horizon de surface) : menu 2 • Connaître les caractéristiques physico-chimiques de l'horizon de surface : menu 2 + P total, P eau, P organique si phosphore étudié • Caractériser l'activité biologique du sol : menu 2 + fractionnement de la MO, biomasse microbienne • Micro-organismes : taux de mycorhization, qualité de la microflore (ADN ou ARN), activité enzymatique) • Mésofaune et macrofaune du sol : nématodes, capture de la mésofaune, • Macrofaune : vers de terre (population et activité) • Méthode Hérody utile pour caractériser la parcelle et le statut de la MO (en complément des autres approches) Application : un essai pluriannuel dans une même parcelle (point 0 puis suivi tous les 4-5 ans)

Tableau 3 : Description synthétique des trois menus proposés issus de la boîte à outils RotAB

D'un point de vue purement méthodologique, le projet a permis la construction d'une « boîte à outils » (BAO) pour suivre l'évolution de la fertilité des sols, question essentielle dans ces systèmes de culture sans élevage. Ces expérimentations innovantes, sans répétition ni témoin car à l'échelle du système, impliquent impérativement de caractériser très précisément le sol en début d'essai (« point 0 ») avant de suivre leur évolution, à l'aide de mesures et démarches classiques ou d'outils de recherche. La BAO

a été élaborée à partir de l'état des lieux des mesures et indicateurs utilisés sur les cinq dispositifs. Les différents types de mesures ont ensuite été analysés en termes de faisabilité, de représentativité, de coût, de fréquence d'utilisation, etc., pour proposer, selon l'objectif des essais et les moyens disponibles, différentes démarches de caractérisation des sols. Trois « menus » ont ainsi été conçus (Tableau 3), directement issus de la BAO qui se présente sous la forme d'un fichier excel, disponible sur demande à l'ITAB. A terme, la BAO pourra être complétée pour d'autres thématiques, comme les aspects économiques ou le suivi des cultures (ajouts de nouveaux modules au module fertilité).

3.2.3 Evolution de la fertilité des sols

La conséquence logique de la mise en réseau des cinq dispositifs est la mise en commun des résultats et de leur interprétation. Il s'agit de compiler et valoriser de manière transversale les résultats obtenus sur les différents sites. Une analyse de l'évolution de la fertilité des sols a été réalisée: Des bilans matières (phosphore, potassium et magnésie) ont été calculés et confrontés à l'évolution des teneurs observées dans les sols. Une analyse des résultats relatifs au statut organique a également été effectuée.

• Fertilité chimique

L'analyse des résultats disponibles sur les cinq dispositifs de RotAB permet de confirmer des connaissances déjà constatées par ailleurs, comme le niveau moyen d'exportation des cultures, lié au rendement, faible pour la magnésie, faible à moyen pour le phosphore et important pour le potassium dès lors que l'on exporte beaucoup de biomasse de parties végétatives (luzerne par exemple).

Pour la potasse, la liaison entre les déficits de bilans et l'évolution des teneurs va certes dans le même sens, mais cette liaison est plus que floue : compte tenu de la mobilité de la potasse, on peut imaginer des prélèvements par les plantes et/ou des redistributions par les résidus plus importants que pour un élément moins mobile comme le phosphore.

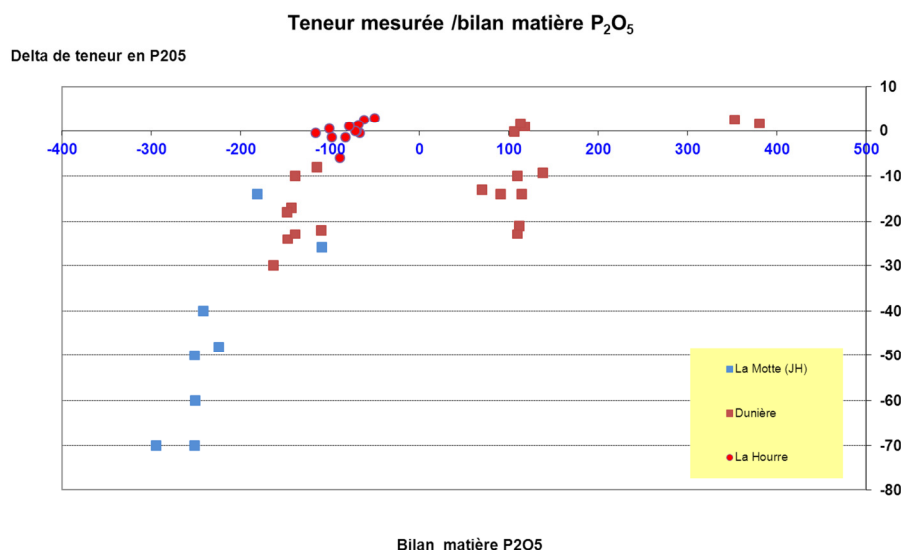


Figure 4 : Bilan matière en P et conséquences sur l'évolution des teneurs à l'analyse (ppm)

Pour le phosphore (Figure 4), les bilans plongent très vite, on peut atteindre 10 % de baisse relative de teneur par année culturale et les teneurs les plus basses avoisinent des niveaux (15 ppm de P Olsen) généralement considérés comme critiques en agriculture conventionnelle. Autrement dit, le phosphore peut devenir un facteur limitant important du rendement après l'azote dans les systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage (seuls les systèmes de culture utilisant des fientes de volailles apportent des quantités notables de phosphore à leurs parcelles). Une suite envisagée de

RotAB est de travailler sur cette thématique du phosphore et des mycorhizes. Une étude particulière sur le phosphore est par ailleurs en cours de réflexion sur le site de Dunière, essai où les teneurs sols (P Olsen) varient de 1 à 3 et où les plantes les plus sensibles de la rotation (colza notamment) ont déjà réagi négativement à une faible teneur à l'analyse.

- **Matières organiques et fertilité du sol**

Avec au maximum neuf années de recul sur l'essai le plus ancien, il est difficile de trouver une tendance forte à l'évolution du taux de MO. Les cinétiques de minéralisation en conditions contrôlées montrent que les rotations et les interventions culturales mises en œuvre dans les sites d'essai permettent une bonne dynamique du carbone dans le sol.

A court terme, par contre, la problématique des systèmes de grandes cultures biologiques spécialisés est la disponibilité de l'azote pour les cultures, en particulier pour les non légumineuses. Les cinétiques de minéralisation donnent des situations très variables pour la fourniture d'azote aux systèmes (Figure 5) et ne permettent pas, à ce stade, d'envisager de leviers pour agir sur cet élément. Il serait nécessaire de compiler des données d'autres dispositifs pour dégager des éléments de conclusion sur ce point.

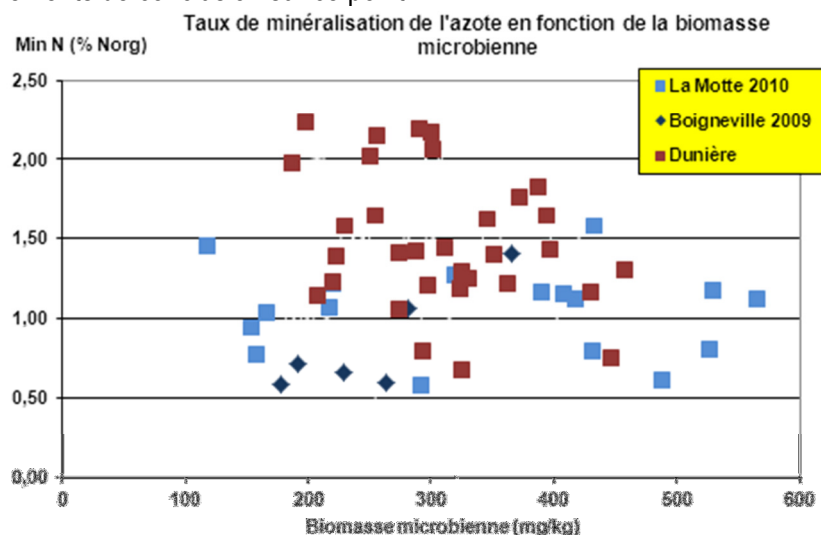


Figure 5 : Biomasse microbienne et minéralisation de l'azote

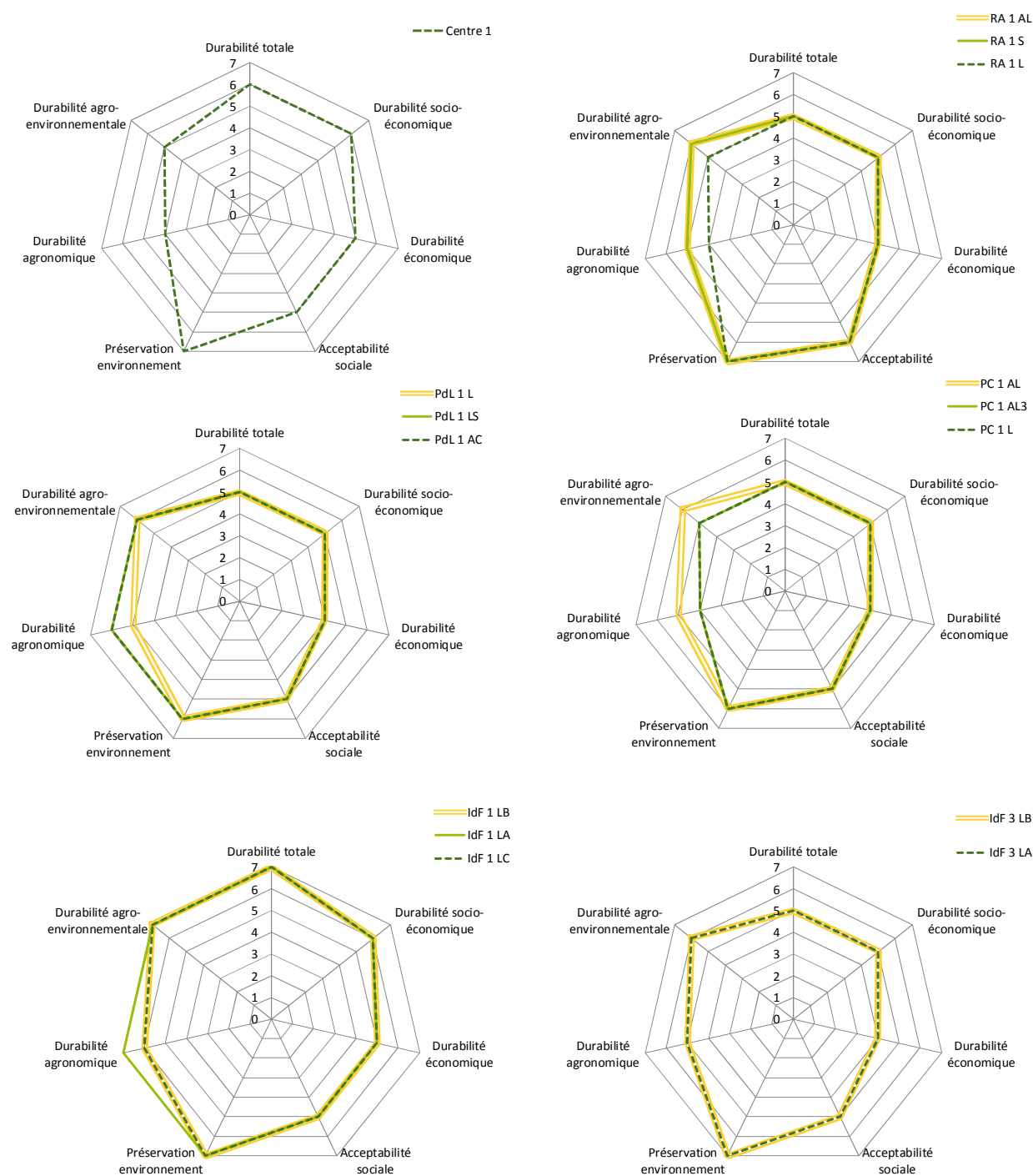
3.3. *Evaluation multicritère des rotations, analyse de leurs atouts et contraintes techniques, agronomiques, économiques et environnementaux*

Le modèle d'évaluation MASC-AB a été appliqué à deux jeux de cas. Le premier est basé sur les 8 systèmes de culture/11 rotations types de RotAB. Pour chacun, la distinction a été faite selon les types de sol rencontrés le plus fréquemment pour la rotation étudiée dans la région considérée, ce qui nous amène à 15 configurations évaluées (1 type de sol pour le cas-type Centre 1, 2 types de sol pour le cas-type Ile-de-France 3, 3 types de sols pour les autres). Le second jeu de cas regroupe 44 systèmes de culture quadriennaux de Midi-Pyrénées, représentatifs des rotations biologiques spécialisées, courtes à très courtes, dominantes dans la région entre 2003 et 2006 (Colomb *et al.*, 2009). Les résultats des deux jeux de cas sont globalement concordants. La Figure 6 illustre les résultats obtenus dans le cas des systèmes de culture étudiés dans RotAB.

Figure 6 - Représentation graphique des valeurs atteintes par les indicateurs de durabilité de systèmes de culture évalués dans le projet RotAB, dans les régions Centre, Rhône-Alpes (RA), Pays de Loire (PdL), Poitou-Charentes (PC) et Ile-de-France (IdF).

Les axes des graphiques sont gradués de 1 à 7 selon l'échelle de jugement suivante : 1, très faible ; 2, faible ; 3, un peu faible ; 4, moyen ; 5, un peu élevé ; 6, élevé ; 7, très élevé.

Les abréviations AC, AL, L, LA, LB, LC, LS, S correspondent à des types de sol différents sur lesquels un même système de culture a pu être évalué dans une région.



La durabilité économique est la dimension de la durabilité qui est la moins bien maintenue dans le temps. Les raisons sont multiples. La rentabilité est très dépendante du choix des cultures rémunératrices des rotations, de leur niveau de production et du niveau des prix. La variation du niveau de production sous l'effet du climat est particulièrement dommageable à la rentabilité lorsque la production se situe à un niveau général plutôt faible, comme c'est le cas dans les situations non irriguées de plusieurs régions.

L'acceptabilité sociale est une dimension plus satisfaisante de la durabilité des systèmes de grandes cultures biologiques étudiés. Sur les aspects qui intéressent directement les agriculteurs (complexité de mise en œuvre, pénibilité du travail, risques pour la santé), les systèmes sont particulièrement bien notés. Du point de vue de la société, l'acceptabilité souffre cependant d'une faible contribution à l'emploi saisonnier et parfois d'un niveau de productivité surfacique insuffisant. Ce dernier critère a été introduit au niveau de l'acceptabilité sociale pour pouvoir répondre à la question récurrente portant sur la capacité des systèmes biologiques à pourvoir la société en biens alimentaires et en matières premières.

Le maintien du potentiel productif des parcelles soumises à la grande culture biologique sur le long terme est une dimension de la durabilité plus problématique. Le niveau d'insatisfaction et la hiérarchie des problèmes n'est pas la même selon les systèmes de culture et les contextes.

- La maîtrise des adventices apparaît meilleure dans les rotations longues comportant de la luzerne. Malgré des opérations mécaniques plus nombreuses, les rotations biologiques plus courtes, sans luzerne, sont exposées à des développements d'adventices importants.
- La maîtrise des bioagresseurs (maladies et ravageurs) n'est pas le problème majeur des systèmes de grandes cultures biologiques, comme cela peut l'être pour d'autres systèmes (e.g. le maraîchage, l'arboriculture, la viticulture). Pour la plupart des cas étudiés, la maîtrise des bioagresseurs atteint des niveaux acceptables, pour des raisons diverses selon les contextes (espèces et variétés tolérantes, couverts peu denses, gestion adéquate des résidus, effet rotationnel, ...).
- Concernant la maîtrise de la fertilité du sol, une difficulté associée à de nombreux systèmes de culture réside dans le maintien d'un état organique satisfaisant sur le long terme, du fait de la faiblesse des restitutions organiques. La qualité de gestion de l'azote, dans laquelle le degré de satisfaction des besoins des cultures non légumineuses tient une place importante, présente une variabilité certaine. La présence ou non de luzerne, la fréquence des engrais verts, le niveau des apports d'azote organique et les conditions pédoclimatiques déterminant les coefficients d'utilisation de l'azote par les céréales peuvent contribuer à expliquer cette variabilité. La qualité de gestion du phosphore est correcte dans les systèmes étudiés des régions Centre, Ile-de-France, Pays de Loire, Poitou-Charentes et Rhône-Alpes. En Midi-Pyrénées, cette gestion apparaît problématique du fait de la forte proportion de rotations présentant des bilans de P négatifs. Par contre, les seuls risques vis-à-vis de la fertilité potassique apparaissent dans les systèmes de culture « types » comportant de la luzerne et dont les exportations potassiques ne sont pas compensées par des apports de même niveau.

La préservation de l'environnement est la dimension de la durabilité la mieux assurée. Des réserves peuvent cependant être émises en fonction du degré d'intensification des rotations, qui influe sur les niveaux des ressources mobilisées (eau et énergie). L'appréciation de l'impact des systèmes de cultures biologiques sur la biodiversité conduit à un diagnostic très favorable. Cependant celui-ci manque de précision compte tenu du mode d'évaluation utilisé très simplifié et devra être amélioré à l'avenir pour mieux discriminer les systèmes.

3.4. Valorisation des résultats

RotAB est un programme riche en enseignements sur une thématique jusque-là très peu étudiée. Une large place a été donnée à la diffusion des résultats : journée de bilan intermédiaire en juin 2010 dans le Drôme, visites et portes ouvertes organisées sur chaque dispositif expérimental du réseau RotAB, deux journées de restitution organisées en 2011 sur Toulouse puis Paris. De nombreux livrables ont été

élaborés et publiés de manière à rendre accessible les acquis. Ils sont en téléchargement gratuit sur le site internet de l'ITAB et de la plupart des partenaires du projet. En plus des Actes des journées de restitution, les principales publications sont quatre brochures portant sur (1) l'état des lieux des rotations pratiquées en France, (2) les 8 fermes-types et 11 rotations caractérisées par des indicateurs agronomiques, économiques, techniques et environnementaux, (3) l'évaluation multicritère de la durabilité de systèmes de grande culture biologiques et (4) l'analyse de l'évolution de la fertilité des sols dans ces systèmes. Enfin, le module « fertilité » de la boîte à outils (format excel) est disponible sur demande.

Les travaux de RotAB ont par ailleurs été valorisés dans d'autres études ou projets. RotAB a ainsi largement contribué à une étude européenne sur l'impact environnemental des rotations pratiquées en Europe, commandée par la DG Environnement de l'Union européenne. Des présentations ont été faites dans le cadre du RMT Systèmes de Culture Innovants. Les acquis de RotAB ont aussi alimenté les réflexions de l'étude commandée par le GIS GC HP2E portant sur la faisabilité d'un Réseau Expérimental « zéro pesticide ».

La valorisation scientifique est aussi bien avancée. Les modalités de choix du modèle d'évaluation multicritère MASC ont fait l'objet d'une publication qui vient d'être acceptée dans *Agricultural Systems* (Carof et al, 2012). La présentation du modèle MASC-AB et les résultats d'évaluation de systèmes de cultures biologiques dans le cadre de ce projet Casdar et du projet CITODAB ont fait l'objet d'un autre article actuellement soumis à une revue à comité de lecture (Colomb et al. 2012).

4. Suites données et perspectives

Les perspectives de travaux sont multiples à l'issue de RotAB. Elles sont d'autant plus intéressantes que la plupart s'est concrétisée dès la fin du programme, en 2011, et perdure aujourd'hui.

4.1. Construction, enrichissement et utilisation des Cas-types GC biologiques

La construction et l'analyse des cas-types sur les rotations céréalières biologiques sans élevage ont permis des premières interprétations et ont apporté de nombreuses références technico-économiques dans les cinq régions étudiées. Ces cas-types sont de plus une bonne base pour réaliser des analyses ou simulations prospectives (variations du contexte économique ou réglementaire). Ils sont à même d'être mobilisés dans d'autres projets (ce qui est déjà le cas : projet Casdar ProtéAB, où l'on cherche à évaluer les impacts de la part de protéagineux dans la rotation ; projet Casdar Pollinov/impacts sur les pollinisateurs ; projet sur la luzerne en AB, en montage). La méthodologie de construction des cas-types est par ailleurs sollicitée par des partenaires autres que ceux de RotAB. Un nouveau cas-type Picard a ainsi été construit en partenariat avec la Chambre d'Agriculture de l'Oise. En termes de perspectives, une ouverture est souhaitée sur des systèmes de polyculture-élevage.

4.2. Mise en réseau des dispositifs expérimentaux en GC biologiques

Les partenaires du projet RotAB disposent d'un savoir-faire dans la conception et le suivi d'expérimentations à l'échelle du système de culture et dans la durée. Les principaux avantages apportés par la mise en réseau se situent au niveau (i) du partage des connaissances et des savoir-faire, (ii) du partage des méthodologies (enrichissement de la boîte à outils, en améliorant le module fertilité et en ajoutant de nouveaux modules, sur le suivi des adventices par exemple), (iii) de la mise en commun des résultats pour une meilleure évaluation des performances des systèmes de culture testés.

D'autres sites ont ainsi rejoint le « Réseau RotAB », qui perdure donc au-delà du programme Casdar. C'est le cas par exemple du site du Lycée Agricole de Chartres-la Saussaye (28), ou encore de la plateforme AB de l'UE Diascope de l'INRA à Mauguio (34). Au final, le Réseau RotAB se compose aujourd'hui de 12 sites, dont 3 en démarrage. Il est le support potentiel de projets de recherche. Par

exemple, le projet « Réseau AB-Dephy Ecophyto » (2012-2017) est lauréat de l'appel à projets 2011 EXPE. En se basant sur le Réseau RotAB, il vise le transfert de pratiques alternatives vers une agriculture très économe en intrants, ainsi que le partage « d'ingénierie réseau » en approche à l'échelle du système, avec les autres partenaires de Dephy Ecophyto.

4.3. Evaluation multicritère : enrichissement de MASC et de sa méthodologie d'utilisation, formation

Les travaux menés pour construire le modèle MASC-AB ont amené à développer, au sein de l'arbre de décision, un sous-arbre agronomique conséquent. Le principe de celui-ci a été repris dans la version 2.0 du modèle MASC, donc bien au-delà de l'agriculture biologique (Craheix *et al.*, 2012). MASC 2.0 est aujourd'hui utilisé par l'INRA et de nombreux partenaires dans différents cadres, en particulier DEPHY ECOPHYTO. C'est ce modèle MASC 2.0 qui sera utilisé pour évaluer des dispositifs expérimentaux du réseau RotAB à horizon 2013, 2014 et 2015.

Par ailleurs, des actions de formations dédiées à l'évaluation multicritère des systèmes de cultures ont fait appel à l'expérience méthodologique acquise dans le cadre du projet RotaB : école thématique « Evaluation Multicritère des Systèmes de Grandes Cultures » organisée par l'INRA de Toulouse à la demande du GIS HPEE (mai 2012), formation ENFA pour les professeurs de BTS Agronomie (juin 2012), présentations en écoles d'ingénieurs (ENSAT, VETAgroSup, en 2011 et 2012), présentation dans le cadre d'une formation (n°1722) organisée par l'organisme Suisse AGRIDEA sur le thème « L'AB est-elle durable » en septembre 2012.

Conclusion : les rotations des cultures dépendent de nombreux facteurs

Les différentes démarches de connaissance, de caractérisation et d'évaluation des systèmes de grande culture pratiqués en AB développés dans RotAB sont convergents quant aux principales conclusions.

Il ressort ainsi que les deux préoccupations agronomiques majeures des producteurs sont l'alimentation azotée des plantes et la maîtrise de l'enherbement, ce qui conditionne en partie le choix de la rotation des cultures. La gestion de la nutrition azotée passe entre autre par l'introduction en proportions suffisantes de légumineuses dans la rotation (30 à 55 %, ce qui est très supérieur aux systèmes conventionnels). La maîtrise des adventices passe généralement par l'allongement de la rotation avec une légumineuse fourragère de 2 à 3 ans en tête de rotation ou, quand le climat le permet (et/ou que de l'irrigation est disponible), en implantant des cultures sarclées d'été.

En termes économiques, la rentabilité des systèmes de production apparaît assurée dans les systèmes étudiés. Elle est néanmoins dépendante des prix de vente auquel le contexte actuel est plutôt favorable. Plus que le type de rotation, le contexte de production conditionne fortement la rentabilité économique observée. En effet, d'un côté le contexte pédoclimatique définit les espèces cultivables, les potentiels de rendements et les possibilités de désherbage mécanique. D'un autre côté, la présence de débouchés locaux influence fortement le choix des cultures, en permettant ou non leur valorisation. A cela vient s'ajouter le facteur social, en particulier la disponibilité en main d'œuvre, qui peut s'avérer limitante notamment lors des pics de travail.

En termes environnemental, on constate globalement une bonne contribution à la préservation de l'environnement. Le poste de consommation d'énergie est à surveiller, variable selon les systèmes. Quels que soient les indicateurs (biodiversité, énergie, eau...), des améliorations méthodologiques sont attendues pour mieux évaluer et discriminer les systèmes.

Enfin, il ressort que la durabilité agronomique des systèmes est un objectif primordial en AB, notamment concernant la gestion de l'enherbement et le maintien de la fertilité des sols. L'introduction de légumineuses fourragères telles que la luzerne apporte un niveau de réponse intéressant pour les systèmes de culture qui peuvent l'introduire. Si la question de l'alimentation azotée est centrale en

grandes cultures spécialisées biologiques, l'étude de l'évolution de la fertilité dans les dispositifs expérimentaux du Réseau RotAB met en garde quant à la disponibilité en phosphore à moyen et long terme. La forte utilisation de luzerne interroge par ailleurs sur l'évolution de la teneur en potasse des sols, compte tenu des fortes exportations en cet élément qui lui sont associées (luzerne foin ou déshydratée).

Références bibliographiques

Carof M., Colomb B., Aveline A., 2012. A guide for choosing the most appropriate method for multi-criteria assessment of agricultural systems according to decision-makers' expectations. *Agr Syst.* doi: 10.1016/j.agsy.2012.09.011

Colomb B., Carof M., Aveline A., 2012. A qualitative multi-criteria assessment model benefiting from agricultural adviser expertise predicts sustainability profiles of stockless organic cropping systems. *Soumis à revue à comité de lecture.* Octobre 2012.

Colomb B., Glandières A., Carpy-Goulard F., Lecat N., Pelletier A., Prieur L., 2009. Analyse énergétique des systèmes de grandes cultures biologiques. Impact du niveau d'intensification. *Innovations Agronomiques* 4, 176-181.

Colomb B., Aveline A., Carof M., 2011. Une évaluation multicritère de la durabilité de systèmes de grandes cultures biologiques. Quels enseignements ? *Restitution des programmes RotAB et CitodAB, INRA*, 42 p. + annexes.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2012. MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. *Innovations Agronomiques* 20, 35-48

David C., 2009. Grandes cultures biologiques, des systèmes en équilibre instable. In : Lamine C. et Bellon S., Coordinateurs. *Transitions vers l'agriculture biologique.* Editions Quae & Educagri pp.129-141.

Fontaine L., Gerber M., Maurice R., Glachant C., Gouraud J.P., Morand P., Perret C., 2011. Les grandes cultures biologiques en France : état des lieux des rotations pratiquées en France. *Restitution du projet RotAB, ITAB*, 54 p.

Fontaine L., Garnier J.F., Bonte J.B., Aubert C., Fourrié L., Colomb B., Glachant C., Maurice R., Gouraud J.P., Morand P., Perret C., 2011. Rotations en grandes cultures biologiques sans élevage, 8 ferme-types, 11 rotations. *Repères agronomiques, économiques, techniques et environnementaux.* *Restitution du projet RotAB, ITAB*, 132 p. + annexes.

Mangin M., Fourrié L., Bouttet D., Chareyron B., Garnier J.F., Quirin T., Prieur L., Fontaine L., 2011. Réseau expérimental RotAB : évolution de la fertilité des sols dans les systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage. *Restitution du projet RotAB, ITAB*, 39 p.