

**L'évaluation multicritère qualitative des systèmes de grandes cultures.
Appropriation du modèle MASC par des conseillers agricoles pour le repérage
des systèmes de cultures biologiques innovants**

B. Colomb¹, A. Glandières², A. Aveline³, M. Carof⁴, L. Fontaine⁵, D. Craheix⁶

¹ UMR 1248 « AGIR » INP-INRA – Toulouse

² Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées – Toulouse

³ Ecole Supérieure d'Agriculture, Lab. Ecophysiologie végétale & Agroécologie – Angers

⁴ Agrocampus Ouest, Laboratoire Science du végétal – Rennes

⁵ Institut Technique de l'Agriculture Biologique – Paris

⁶ UMR d'agronomie INRA AgroParisTech - Paris



Colloque SFER "Conseil en agriculture : acteurs, marchés, mutations "

14 et 15 octobre 2010 – AgroSup Dijon, 26 boulevard Docteur Petitjean 21079 DIJON France

Résumé.

Le développement de l'agriculture biologique est actuellement soutenu et suscite de fortes demandes d'appui de la part des agriculteurs auprès des organismes de conseils. La reconfiguration des systèmes de cultures (SDC) qu'entraîne la conversion est assimilable à un problème de décision multicritère particulièrement complexe à traiter. Un outil d'évaluation intégrée des performances et impacts des SDC dans les domaines économique, social, et agro-environnemental serait utile pour la sélection des diverses options possibles envisagées par les producteurs. De plus, un tel outil faciliterait le repérage des systèmes de culture les plus innovants à l'échelle d'un territoire donné, sur lesquels l'activité de conseil pourrait s'appuyer. Cette communication a pour but de montrer pourquoi et comment un panel de conseillers de Chambres d'agriculture s'est approprié un modèle d'analyse multicritère qualitatif de la durabilité des SDC proposé par des chercheurs (MASC : Sadok et al., 2009) pour répondre à ce double besoin.

Les travaux ont permis (i) d'identifier les indicateurs nouveaux à incorporer dans l'arbre d'évaluation (ii) de préciser leur mode d'évaluation (iii) d'établir les règles de raisonnement qualitatif qui régissent le processus d'agrégation des indicateurs entre eux (iv) de sélectionner les valeurs seuils qui permettent de passer de critères quantitatifs caractérisant les systèmes de culture aux indicateurs qualitatifs d'entrée du modèle. La principale innovation apportée au modèle concerne l'introduction d'une dimension relative à la durabilité agronomique des systèmes de culture biologiques, basée sur des indicateurs de maîtrise de la fertilité des sols, des bioagresseurs et des adventices. Les premiers travaux d'application du modèle MASC-AB résultant font ressortir que le modèle obtenu est capable de discriminer les SDC dès lors qu'un paramétrage soigneux est réalisé au préalable. Cependant il en ressort la nécessité de développer des outils compagnons pour la description des SDC et l'évaluation des indicateurs, et d'identifier des modes d'utilisation du modèle en fonction de la situation de conseil.

A travers l'investissement consenti, les conseillers ont confirmé leur volonté d'affronter la complexité grandissante de construction des SDC. Pour cela, ils cherchent à améliorer leur capacité d'évaluation des fonctions productives et non productives des systèmes à l'aide d'un modèle approprié. Leur engagement ne s'est pas limité à l'utilisation d'un modèle issu de la recherche, ou aux résultats diagnostics issus de ce modèle. Au contraire l'expérience d'adaptation de MASC a démontré une volonté d'engagement dans la conception du modèle, de sorte que soit mieux prise en compte et valorisée leur capacité d'expertise individuelle et collective pour l'évaluation des systèmes de culture biologiques.

Mots clés.

Systemes de culture biologiques. Evaluation multicritère. Modélisation qualitative. Conseillers agricoles. Chambre d'agriculture.

Pour la troisième année consécutive, le développement de la grande culture biologique est soutenu dans plusieurs régions de France, en écho aux décisions prises après le Grenelle de l'environnement (Agence Bio, 2009). A l'échelle d'une exploitation agricole, l'adoption du mode de production biologique entraîne une reconfiguration profonde du système de production et des systèmes de cultures ou d'élevage qui le composent, susceptible de s'étendre sur plusieurs années (Lamine & Bellon, 2009). Les organismes de conseil doivent faire face à un accroissement des demandes d'appui de la part des agriculteurs pour les accompagner dans les phases décisives de cette reconfiguration. Les demandes peuvent s'exprimer à divers stades: préalablement à la conversion, pendant la période de conversion, ou ultérieurement lorsqu'apparaissent des difficultés économiques ou techniques susceptibles de menacer la durabilité de l'exploitation.

En effet, les systèmes de cultures biologiques sont soumis aux mêmes impératifs de viabilité économique, d'acceptabilité sociale, et de compatibilité environnementale que les autres pour être durables. A ces impératifs généraux, s'ajoute la nécessité d'assurer la durabilité du potentiel productif des parcelles soumises à ce mode de production, sans le recours à des intrants de synthèse.

La mise au point de systèmes de culture biologiques est assimilable à un problème de décision multicritère particulièrement complexe à traiter. Aussi, un outil d'évaluation intégrée de leurs performances et impacts dans les domaines économique, social, et agro-environnemental serait utile pour la sélection des diverses options possibles envisagées par les producteurs. De plus, un tel outil faciliterait le repérage des systèmes de culture biologiques les plus innovants à l'échelle d'un territoire donné, sur lesquels l'activité de conseil pourrait s'appuyer pour sécuriser les agriculteurs et les conseillers.

Cette communication a pour but de montrer comment un panel de conseillers de chambre d'agriculture s'est approprié le modèle MASC (Sadok et al., 2009) d'analyse multicritère qualitatif de la durabilité des systèmes de culture (SDC) et l'a transformé sous la forme d'un modèle dérivé (MASC-AB) pour mieux répondre à ce double besoin.

Démarche

L'appropriation et l'adaptation du modèle MASC ont été menées dans le cadre de deux collectifs de travail aux objectifs complémentaires. Le premier, constitué de quatre conseillers de Chambres d'Agriculture et des cinq responsables des sites expérimentaux français en Agriculture Biologique, oeuvre dans le cadre du projet CASDAR RotAB (Fontaine, 2009). Il vise à caractériser *ex post* les performances de rotations biologiques relevées dans diverses régions, afin d'illustrer la variabilité de leur nature et de leur performance. Le deuxième collectif constitué de cinq conseillers en agriculture biologique venant de diverses Chambres Départementales d'Agriculture de Midi-Pyrénées vise à tester MASC comme outil d'appui au conseil auprès des agriculteurs (Glandières et al., 2008). Le travail est mené dans le cadre du projet CITODAB du programme PSDR III Midi-Pyrénées (Colomb & Gafsi, 2009).

Le choix de MASC comme point de départ a été fait à l'issue de deux opérations complémentaires. La première est une analyse comparative de sept modèles d'évaluation multicritère des systèmes de culture décrits dans la littérature et la comparaison de leurs caractéristiques à des éléments de cahier des charges prédéfinis. Les modèles comparés portent tous sur au moins deux des dimensions (économique, sociale, environnementale) habituellement considérées dans l'analyse de la durabilité des systèmes de cultures : MODAM (Zander and Kachele, 1999; Meyer-Aurich, 2005), BRM (Strassert and Orato, 2002), ROTAT + Farm Images (Dogliotti et al., 2003, 2004), MEACROS (Mazzetto and Bonera, 2003), le modèle sans acronyme de Pacini et al. (2003, 2004), MASC (Sadok et al., 2009), ROTOR (Bachinger and Zander, 2007). Chacun d'eux a été analysé en regard de : 1/ l'échelle de l'évaluation (parcelle, exploitation, région); 2/ le public concerné (agriculteurs, conseillers, chercheurs, décideurs); 3/ la pertinence du panel d'indicateurs aux

objectifs de l'évaluation; 4/ la capacité du système à capturer les connaissances expertes des utilisateurs; 5/ la possibilité d'agréger les indicateurs pour parvenir à un classement des SDC ; 6/ la possibilité de procéder à des analyses de sensibilité pour le traitement des principales sources d'incertitudes. Sur l'ensemble des points et des fonctionnalités évoquées, la supériorité de MASC est nettement apparue. De plus celui-ci a été développé à partir d'une technologie robuste issue de l'ingénierie des connaissances (Bohanec, 1990), facile à mettre en œuvre grâce à un outil (DEXi) disponible gratuitement sur internet (Bohanec, 2008). La deuxième opération a consisté en une première application du modèle MASC à l'analyse de systèmes de grandes cultures biologiques issus de la région Midi-Pyrénées (Colomb et al., 2009), préalablement typés quant à leurs niveaux d'intensification (irrigués versus non irrigués et fertilisés versus non fertilisés (Colomb et al., 2008). Il en ressort que le modèle est bien apte à discriminer efficacement à posteriori des systèmes de cultures biologiques entre eux, à condition qu'ils soient suffisamment différenciés sur les plans économique et environnemental. Cependant, en l'état, le modèle MASC ne saurait permettre une analyse suffisamment pertinente de systèmes de cultures candidats en vue de leur choix dans le cadre d'une exploitation, notamment parce que ne sont pas prises en compte diverses préoccupations essentielles pour les agriculteurs dans les domaines agronomique et social.

Résultats

Les travaux conduits en participatif et en collaboratif (selon les étapes) au sein des deux collectifs pour adapter le modèle ont permis (i) d'identifier les indicateurs nouveaux à incorporer dans l'arbre d'évaluation, en partant des préoccupations importantes pour les systèmes de culture biologiques (ii) de préciser leur mode d'évaluation (iii) d'établir les règles de raisonnement qualitatif qui régissent le processus d'agrégation des indicateurs entre eux (iv) de sélectionner les valeurs seuils qui permettent de passer de critères quantitatifs caractérisant les SDC aux indicateurs qualitatifs d'entrée du modèle.

Sur le premier point, la principale innovation apportée au modèle MASC par les conseillers concerne l'introduction d'une dimension « technique » relative à la durabilité agronomique des systèmes de culture biologiques (Figure 1). En effet l'une des principales préoccupations des agrobiologistes porte sur l'évolution du potentiel productif des parcelles soumises à de tels systèmes. L'analyse de la durabilité agronomique proposée s'appuie sur l'examen du degré de maîtrise des adventices, des bioagresseurs et de la fertilité du sol. L'approche de la fertilité repose sur l'examen de la qualité de gestion des nutriments tout au long des successions culturales, et du degré de maîtrise du statut organique et de l'état structural du sol que celles-ci permettent d'obtenir. De grandes différences peuvent être observées dans la productivité des SDC biologiques, selon leur contexte et les niveaux d'intensification. Du fait que l'agriculture biologique est souvent questionnée sur son aptitude à nourrir le monde, un indicateur de productivité surfacique a été inséré dans l'évaluation de l'acceptabilité sociale des systèmes de cultures.

Au-delà de l'introduction d'indicateurs nouveaux, les conseillers ont passé en revue l'ensemble des indicateurs constituant la première version de MASC, pour vérifier leur pertinence et débattre des modalités d'évaluation. Pour les indicateurs complexes pour lesquels il n'existe pas d'outil diagnostique, de connaissances scientifiques organisées sous forme de modèle mécanistes, ou de possibilité de mesures directes, les conseillers ont établi des schémas d'évaluation qualitative, à partir de leurs connaissances expertes du domaine, le plus souvent sous la forme d'arbres satellites à l'arbre principal. Un exemple est donné en figure 2, pour l'approche de l'effet d'un système de culture sur la structure du sol.

Les règles de raisonnement qualitatif qui régissent le processus d'agrégation sont du type (si indicateur X = 'faible' et indicateur Y = 'moyen', alors indicateur Z = 'acceptable'). L'ensemble des règles de combinaisons des indicateurs détermine le poids de chacun aux différents niveaux de l'arbre d'évaluation, donc permet de les situer dans l'échelle des préoccupations. La difficulté pour

les conseillers est ici de refléter la diversité des perceptions des parties prenantes sur l'importance relative des différents indicateurs dans l'échelle des préoccupations ou des enjeux. Cependant un consensus est parfois facile à établir, comme par exemple dans le cas de l'importance relative à donner à l'azote, au phosphore et au potassium dans l'appréciation du degré de maîtrise des nutriments offert par un système de culture dans un contexte particulier (Figure 3).

Le travail de concertation important a également porté sur l'identification des valeurs seuils des critères quantitatifs sous-jacents aux indicateurs qualitatifs du modèle. Il s'est effectué essentiellement au sein du collectif Midi-Pyrénées pour « exemplifier » le processus, en mobilisant les référentiels économiques ou techniques disponibles dans la région. Les spécificités des systèmes de grandes cultures biologiques font que certains critères de performance (e.g. l'efficacité énergétique) peuvent prendre des valeurs différentes en AB de celles observées pour d'autres systèmes. Par exemple, une étude avait montré que l'efficacité énergétique¹ des rotations était inféodée à leur degré d'intensification (présence ou non d'irrigation et de fertilisation) et variait dans la plage 3 à 12 MJ/MJ (Colomb et al., 2009b). Sur cette base, des valeurs seuils de cinq et huit MJ/MJ ont été proposées pour discriminer les efficacités énergétiques faibles, moyennes ou élevées.

Perspectives de développement complémentaires et d'utilisation

L'adaptation du modèle MASC n'est pas achevée. Des points faibles subsistent, qui ne permettent pas de caractériser les systèmes de cultures dans des domaines de préoccupation émergents mais complexes à instruire. A titre d'exemple, Comment caractériser le niveau de recours aux services écologiques offerts par l'environnement proche ou paysager des parcelles ? Quid de la qualité des produits attendus ? Le modèle est donc amené à s'enrichir encore, dans le respect de sa fonction de support à une démarche exploratoire ou comparative de systèmes de culture. La branche « agronomique » introduite dans MASC-AB s'est révélée capable de différencier efficacement des systèmes de grandes cultures biologiques provenant d'une même région sur des points essentiels de leur durabilité, dès lors qu'un paramétrage attentif est préalablement réalisé par des conseillers bons connaisseurs du contexte (Craheix, 2009).

Sous sa forme présentée en figure 1, et conformément aux objectifs initiaux, le modèle MASC-AB fait actuellement l'objet de tests d'évaluation de sa capacité à caractériser des rotations biologiques typiques provenant de diverses régions de France (Projet RotAB). Des travaux sont actuellement menés en Midi-Pyrénées pour identifier comment et à quelles conditions MASC-AB peut être utilisé dans le cadre d'une activité de conseil personnalisé auprès des agriculteurs et pour la sensibilisation de ces derniers à l'agriculture biologique (Projet CITODAB). Dans les deux cas des difficultés de nature technique apparaissent pour la description des rotations et pour le calcul ou l'évaluation experte des indicateurs individuels. En effet il n'existe pas encore d'outil compagnon capable d'effectuer ce travail simultanément pour tous les indicateurs, à partir d'une description et d'une saisie unique des caractéristiques des rotations. Des aides techniques temporaires (tableur) sont réalisées pour surmonter le problème.

S'agissant de l'utilisation de MASC-AB pour l'accompagnement des agriculteurs, telle que souhaitée par les conseillers de la région Midi-Pyrénées, des difficultés d'une autre nature apparaissent. Un élément de conjoncture explique en partie les hésitations des conseillers à se lancer dans l'utilisation d'un modèle à l'élaboration duquel ils ont pourtant beaucoup participé. Le nombre de demandes d'appui à la conversion enregistrées dans les diverses Chambres d'Agriculture en 2009 et en 2010 est tel qu'il bouleverse les pratiques d'appui utilisées par les conseillers. Dans l'urgence de cette situation ces derniers doivent reconsidérer l'équilibre entre appui collectif (action de sensibilisation, formation des candidats à la conversion) et appui

¹ Il s'agit du rapport de l'énergie contenue dans les produits récoltés sur l'énergie utilisée pour la production.

individuel (aide au montage des dossiers de conversion, aide à l'établissement des systèmes de culture prévisionnels pour cinq ans à venir, audit de difficultés après conversion). Selon les premiers témoignages recueillis en juillet 2010 auprès de cinq conseillers, le premier type d'appui est appelé à se développer au détriment du second. Pour l'appui individuel, les prestations payantes seront privilégiées au détriment des formes gratuites.

Cette situation nouvelle a conduit les conseillers à suggérer des modes d'utilisation de MASC-AB non prévus initialement. Compte tenu du temps limité qui pourra être consacré à l'appui individualisé, une utilisation exhaustive (i.e. avec évaluation de tous les indicateurs) et rigoureuse (i.e. en suivant les modes d'évaluation retenus) du modèle pour comparer des SDC proposés par les agriculteurs ou co-construits par eux est-elle vraiment possible ? Peut-on envisager des utilisations partielles, limitées à des indicateurs clés, et/ou progressive dans le temps, au fur et à mesure que se développe la relation de conseil avec l'agriculteur, que se construit son projet ? Ne pourrait-on pas simplifier encore l'évaluation de certains indicateurs, en procédant par exemple à des analogies avec des SDC types bien caractérisés ? Le modèle ne pourrait-il pas servir dans le cadre des formations des agriculteurs candidats à l'AB, comme support de discussion entre eux pour analyser leurs projets respectifs ? En conséquence, les aides techniques à l'évaluation de SDC candidats avec MASC-AB ne devraient elles pas être conçues en fonction de cette diversification des usages du modèle ? De même lors des formations d'agriculteurs biologiques avancés, son utilisation pourrait elle faciliter l'expression de leurs questionnements dans la sélection des SDC les mieux adaptés à leur contexte d'exploitation en situation d'incertitude ?

Assurément, ces questions relèvent du passage d'un modèle à un outil, en lien avec les activités des utilisateurs, dans un contexte où celles-ci sont en forte recomposition (Cerf & Meynard, 2006). Les réponses requièrent de poursuivre la démarche de co-développement des outils complémentaires avec les conseillers et de les accompagner dans les premières utilisations qu'ils envisagent eux mêmes.

Quels enjeux pour l'activité de conseil ?

Il est prématuré d'analyser voire de repérer tous les enjeux associés à l'utilisation du modèle d'évaluation de SDC dans le cadre d'une activité de conseil, mais quelques remarques peuvent être avancées. Par le choix de l'utilisation d'un tel outil dans leurs actions de conseil directes ou indirectes avec les producteurs, les conseillers manifestent clairement leur volonté d'affronter la complexité grandissante de la construction des SDC dans une exploitation, en évaluant plus efficacement leurs fonctions productives et non productives. Avec MASC-AB, ils disposent d'un profil de performances non normatif dans le mode d'évaluation des indicateurs de performances et le niveau des performances à atteindre. Cela permet une bonne prise en compte des contextes sociotechniques et agronomiques locaux, avec en contrepartie un travail de préparation important.

D'autre part, l'usage du modèle peut traduire une volonté de renforcement de la prise en compte des impacts des SDC sur l'environnement dans la relation de conseil. Le fait de disposer avec MASC ou MASC-AB d'une grille d'analyse de ces impacts émanant de la recherche institutionnelle, aide à franchir le pas avec l'agriculteur, pour des discussions explicites portant sur ces enjeux. L'existence de cette grille peut faciliter l'adhésion des responsables qui encadrent les conseillers dans leurs propres institutions, et encourager l'amorce d'une telle démarche.

Du point de vue des dispositifs de travail, la mise au point d'un outil opérationnel à partir du modèle MASC générique n'est pas à la portée du seul conseiller, aussi expérimenté soit-il. Elle suppose un ensemble d'activités structurées. Si certaines sont classiques (mobiliser ou compléter un référentiel), d'autres sont assez nouvelles et vont susciter un apprentissage : « problématisation » pour le choix des indicateurs, définition de seuils quantitatifs pour le jugement des indicateurs, agrégation et pondération des indicateurs entre eux, donc choix sur les performances à atteindre.

Toutefois l'action la plus innovante et déterminante consiste dans le travail collectif d'échange et de formalisation des connaissances expertes détenues par les conseillers (provenant en partie des savoir-faire des agriculteurs) pour l'évaluation des indicateurs eux-mêmes, complétant ainsi les recommandations proposés par les chercheurs et experts du modèle MASC. De plus ces échanges permettent un partage de connaissance et d'expérience entre jeunes conseillers, conseillers porteurs d'une très bonne connaissance des enjeux généraux ou locaux de la grande culture biologique et chercheurs. Ces confrontations vont produire des schémas d'évaluation de certains indicateurs pour lesquels les connaissances et outils diagnostics scientifiques ne sont pas disponibles. Dans cette action, les conseillers s'engagent de manière directe dans un processus de modélisation, basé à la fois sur une déconstruction partielle du modèle MASC générique et sur son enrichissement, à travers : (i) le choix des entrées (e.g. introduction des indicateurs « agronomiques ») ; (ii) le choix des variables intermédiaires (e.g. la notion d'alternance de cultures d'été et d'hiver, utilisée pour juger de la maîtrise des adventices) ; (iii) le choix des formalismes (sous la forme générale de raisonnement qualitatif pour combiner les variables intermédiaires introduites). Cet engagement marque un déplacement d'exigence des conseillers vis-à-vis des modèles de nature qualitative que peut produire la recherche agronomique, semblable à ce qui a été récemment observé pour des modèles dynamiques de cultures de nature quantitative (Jeuffroy, 2009). L'originalité de leur exigence consiste à ne pas se limiter à l'utilisation des connaissances ou des diagnostics qui sortent des modèles, mais à participer pleinement à leur conception et leur élaboration. Là se jouent aussi de nouvelles relations entre conseillers et scientifiques de demain, favorisant l'application des résultats de ce mode de recherche-action au plus près des besoins du terrain.

Le travail d'appropriation et d'adaptation d'un modèle d'évaluation de système de culture par des conseillers requiert une évolution de leurs activités, susceptible de faire bouger les frontières du métier de conseiller lui-même. Qualitativement, il révèle leur souhait d'acquérir de nouvelles compétences et d'améliorer leur capacité adaptative face aux différentes situations de conseil que suscite le développement de l'agriculture biologique. Quantitativement, l'investissement nécessaire tant individuel que collectif peut apparaître lourd. Mais il correspond à un processus d'apprentissage où s'opère « l'acquisition de nouveaux modèles relationnels, de nouveaux modes de raisonnement, de nouvelles capacités collectives »². Un tel processus requiert de faire une large place au temps. Mais n'est-ce pas de cette manière que peut se développer une agroécologie pour l'action qui réponde au besoin des producteurs et de la société ?

Références

- Agence Bio. L'agriculture biologique, chiffres clés - Edition 2009
- Bachinger J., Zander P. 2007. ROTOR, a tool for generating and evaluating crop rotations for organic farming systems, *European Journal of Agronomy*. 26, 130-143.
- Bohanec, M., Rajkovič V., 1990. DEX: an expert system shell for decision support. *Sistemica* 1 1, 145-157
- Bohanec, 2008. DEXi : Program for multi-attribute Decision Making. User's manual, Version 3.00. IJS Report DP-9989, Jožef Stefan Institute, Ljubljana, 2008.
- Available at : <http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/pub/DEXiManual30r.pdf>
- Cerf M., Meynard J.M. 2006. Diversité d'usages des outils d'aide à la décision en conduite de cultures : quels enseignements pour une création conjointe des outils et de leurs usages ? *Natures, Sciences, Sociétés*. 14, 19-29
- Colomb B., F. Angevin, JE Bergez, M. Blouin, A. Glandières, L. Prieur. 2009. Using MASC to evaluate the sustainability of cropping systems: Application to multicriteria assessment of organic cropping systems in Southern France AgSAP Conference 2009, Egmond aan Zee, the Netherlands. pp 2.

² Cf. Crozier M. et Friedberg (E.), 1977. L'acteur et le système. Seuil, coll Points, rééd. 1981, page 392.

- Colomb B., Gafsi M., 2009a. Contribution des innovations techniques et organisationnelles à la durabilité de l'agriculture biologique. CITODAB project. In Galliano D. & Nolot J. M., Scientific coordinators, PSDR Midi-Pyrénées Program. INRA Toulouse Center.
http://www.toulouse.inra.fr/le_centre_ses_partenaires/psdr_midi_pyrenees/les_8_projets_du_programme_psd
- Colomb B., Glandières A., Carpy-Goulard F., Lecat N., Pelletier A., Prieur L., 2009b. Analyse énergétique des systèmes de grandes cultures biologiques. Impact du niveau d'intensification. *Innovations Agronomiques* 4, 176-181.
http://www.inra.fr/ciag/layout/set/print/revue_innovations_agronomiques/volume_4_janvier_2009
- Craheix D. 2009. Contribution à la mise au point d'un modèle d'évaluation multicritère des systèmes de cultures biologiques : introduction d'indicateurs relatifs à la qualité de la gestion agronomique. Mémoire de fin d'étude. Diplôme d'Ingénieur Agronome de l'Institut supérieur des Sciences Agronomiques AGROCAMPUS OUEST- ITAB-INRA. 89 pages.
- Dogliotti S., Rossing W.A.H., van Ittersum M.K. 2003. ROTAT, a tool for systematically generating crop rotations. *Eur. J. Agron.* 19, 239-250.
- Dogliotti S., Rossing W.A.H., van Ittersum M.K. 2004. Systematic design and evaluation of crop rotations enhancing soil conservation, soil fertility and farm income: a case study for vegetable farms in South Uruguay, *Agric. Syst.* 80, 277-302.
- Fontaine L., 2009. Peut-on construire des rotations et assolements qui limitent les impacts environnementaux tout en assurant une viabilité économique de l'exploitation? Institut Technique de l'Agriculture Biologique. <http://www.itab.asso.fr/programmes/rotation.php>
- Jeuffroy M.H., 2009. Dynamiques partenariales dans une démarche de modélisation en agronomie : quels effets sur les modèles et leurs usages ? In *Dynamique des savoirs, dynamique des changements*, Pascal Béguin, Marianne Cerf (coord), OCTARES Editions, Collection Travail et activités humaines. 191-208.
- Glandières A., Arino J., Caldéran P., Colomb B., Collet S., Rossignol E., 2008. Analyse des systèmes de culture biologique dans le Sud-Ouest de la France : aide à la conception, à l'évaluation et à une large utilisation. Colloques sur les Recherches en Agriculture biologique. DinABio. 19 et 20 mai 2008. Centre INRA de Montpellier. Résumés, p 70. <http://www1.montpellier.inra.fr/dinabio/?page=sessions>
- Lamine C., Bellon S., 2009. Conversion to organic farming: a multidimensional research object at the crossroads of agricultural and social sciences. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 97-112.
- Mazzetto F., Bonera, R. 2003. MEACROS: a tool for multi-criteria evaluation of alternative cropping systems. *Modelling Cropping Systems: Science, Software and Applications. European Journal of Agronomy* 18, 3-4, 379-387
- Meyer-Aurich A., 2005. Economic and environmental analysis of sustainable farming practices – a Bavarian case study, *Agr. Syst.* 86, 190–206.
- Pacini C., Wossink A., Giesen G., Vazzana C., Huirne R. 2003. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 95, 273–288.
- Pacini C., Wossink A., Giesen G., Vazzana C., Huirne R. 2004. Ecological-economic modelling to support multi-objective policy making: a farming systems approach implemented for Tuscany. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 102, 349–364
- Sadok W., Angevin F., Bergez J.E, Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A. and Doré T. 2009. MASC: a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agron. Sustain. Dev.* 29, 447-461.
- Strassert G., Prato T. 2002. Selecting farming systems using a new multiple criteria decision model: the balancing and ranking method. *Ecological Economics.* 40, 269-277.
- Zander, P., Kächele, H., Meyer-Aurich, A., 1999. Development and application of a multi-objective decision support tool for agroecosystems management (MODAM). *Quarterly Bulletin of the International Association of Agricultural Information Specialists.* 44, 66-72.
- Zander, P., 2001. Interdisciplinary modeling of agricultural land use: MODAM - Multiobjective Decision Support Tool for Agroecosystem Management. In: Helming, K. (Ed.), *Multidisciplinary Approaches to Soil Conservation Strategies: Proceedings; International Symposium ESSC, DBG, ZALF. Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung, Müncheberg*, pp. 155-160.

Figure 1 : Le modèle MASC-AB se différencie du modèle MASC 1.0 essentiellement par : a/ l'introduction d'une branche relative à la durabilité agronomique des systèmes de cultures, distincte de la durabilité environnementale ; b/ le regroupement de l'ensemble des indicateurs en deux grands domaines de durabilité socio-économique et agroenvironnementale.

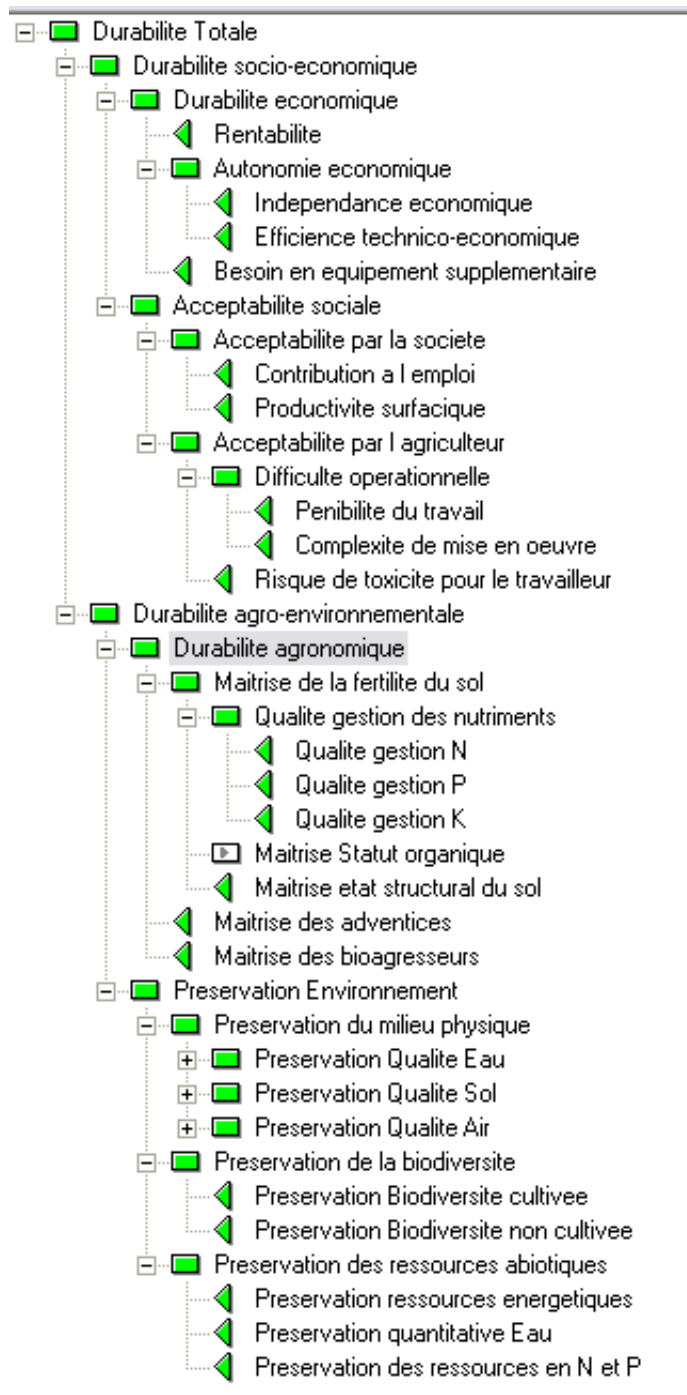


Figure 2 : Exemple de schéma d'évaluation d'indicateurs de MASC-AB par voie qualitative : approche du degré de maîtrise de l'état structural du sol d'une parcelle soumise à une rotation biologique.

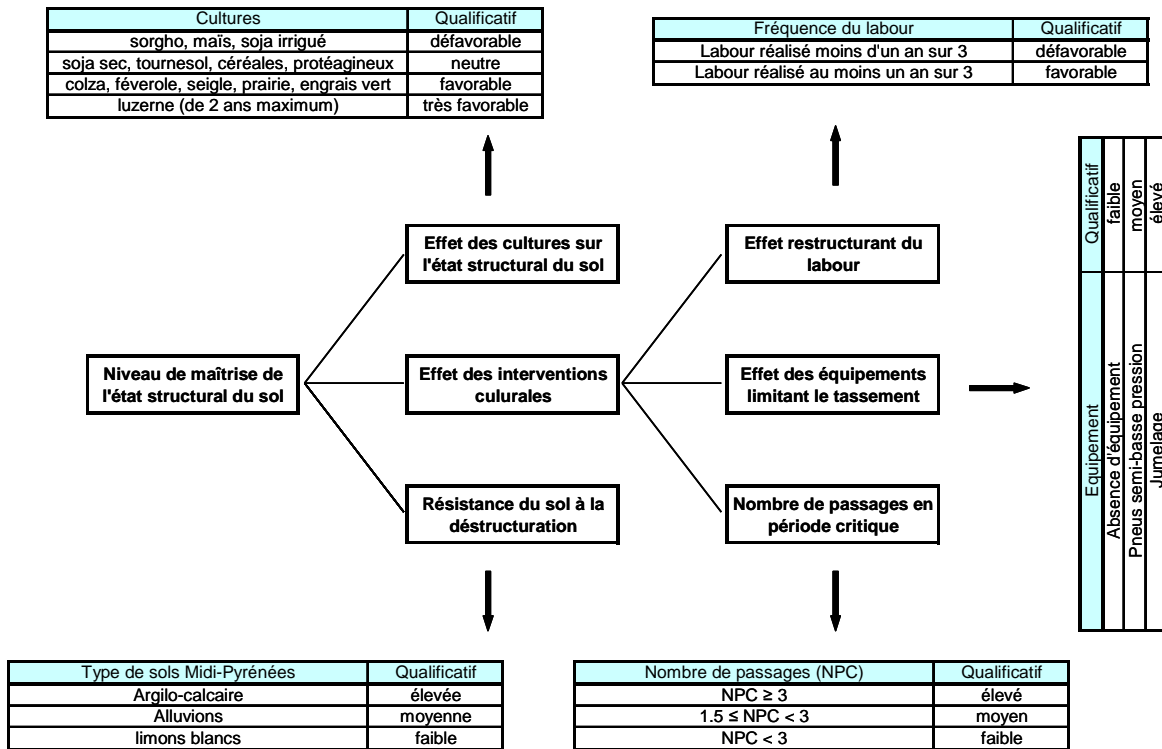


Figure 3 : Exemple de pondération d'indicateurs qualitatifs de MASC-AB : importance relative de l'azote, du phosphore et du potassium dans l'appréciation de la qualité de gestion des nutriments à l'échelle des rotations.

