

MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable

Damien Craheix, Frédérique Angevin, Jacques - Eric Bergez, Christian C. Bockstaller, Bruno B. Colomb, Laurence L. Guichard, Raymond Reau, Thierry Doré

▶ **To cite this version:**

Damien Craheix, Frédérique Angevin, Jacques - Eric Bergez, Christian C. Bockstaller, Bruno B. Colomb, et al.. MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable. Innovations Agronomiques, 2012, 20, pp.35 - 48. hal-02265455

HAL Id: hal-02265455

https://agroparistech.hal.science/hal-02265455

Submitted on 9 Aug 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

Innovations Agronomiques 20 (2012), 35-48

MASC 2.0, un outil d'évaluation multicritère pour estimer la contribution des systèmes de culture au développement durable

Craheix D.[a,b], Angevin F.[c], Bergez J.-E.[d,e], Bockstaller C.[f,g], Colomb B.[d,e], Guichard L.[a,b], Reau R.[a,b], Doré T.[b,a]

[a] INRA, UMR 211 Agronomie, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France

[b] AgroParisTech, UMR 211 Agronomie, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France

[c] INRA, UAR 1240 Eco-Innov, BP 01, 78850 Thiverval-Grignon, France

[d] INRA, UMR AGIR, BP 52627, 31326 Castanet Tolosan Cedex, France

[e] INP/ENSAT UMR AGIR BP 32607, 31326 Castanet Tolosan, France

[f] INRA, UMR 1121, IFR 110, BP 20507, 68021 Colmar, France

[g] Nancy-Université, UMR 1121, IFR 110, BP 20507, 68021 Colmar, France

Correspondance : thierry.dore@agroparistech.fr

Résumé

Les changements actuels du contexte agricole encouragent les différents acteurs à réfléchir à de nouveaux modes de production plus durables. Pour y parvenir, des outils sont nécessaires pour évaluer les solutions identifiées ou nouvellement conçues avant leur expérimentation et leur diffusion. MASC 2.0 est un outil d'évaluation multicritère des performances des systèmes de cultures assolées du point de vue de leur contribution au développement durable. Il a été développé sur un logiciel d'aide à la décision DEXi qui agrège dans une arborescence les 39 critères qualitatifs retenus pour l'évaluation. MASC 2.0 peut être utilisé pour repérer les systèmes actuels les plus performants dans un contexte donné (évaluation *a posteriori*). Il permet aussi de classer des systèmes de culture conçus par prototypage (évaluation *a priori*). Par sa flexibilité, MASC 2.0 offre la possibilité aux utilisateurs de décliner leur propre vision du développement durable en modifiant le poids accordé à chaque critère d'évaluation. L'interface du modèle, conviviale et simple d'utilisation, en fait un support d'échanges et de médiation privilégié entre chercheurs, conseillers agricoles, agriculteurs et pouvoirs publics. Ses principaux inconvénients résident dans le temps nécessaire pour renseigner tous les critères et dans les limites intrinsèques liées à l'échelle considérée pour traiter des questions de développement durable, souvent abordées à des échelles plus larges.

Mots-clés : Evaluation multicritère, développement durable, système de culture, système d'aide à la décision

Abstract: MASC 2.0 : a multi attribute tool for the assessment of the sustainability of cropping systems

Current changes in the field of agriculture encourage stakeholders to envision new and more sustainable production methods. For this purpose, tools are needed to assess the proposed or newly designed solutions before they are taken to the fields and disseminated. MASC 2.0 is a multi-criteria assessment tool designed to assess the performance of cropping systems in terms of their sustainability. It was based on a decision support system (DEXi) which aggregates 39 qualitative criteria in a single tree. This tool applies to a wide range of situations. It can therefore be used to identify the best cropping systems in a given territory (*ex post* assessment) or design prototypes of cropping systems (*ex ante* assessment). Thanks to its flexibility, MASC 2.0 offers users the opportunity to propose their own vision of sustainable development by changing the weight given to each evaluation criterion. Its friendly and simple interface makes this tool a privileged support for exchanges and

mediation between researchers, extension workers, farmers, and public authorities. Its main drawbacks are the time spent to fill in all the criteria and the inherent limitations related to the given scale (cropping system) in relation to the larger scales more often used to handle sustainable development issues.

Keywords: Multi-criteria assessment, cropping system, sustainability, decision support system

Introduction

Le développement durable, dans sa définition la plus communément admise, est caractérisé comme « un mode de développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire aux leurs». Cette définition, introduite par le rapport Bruntland (1987) et adoptée lors de la conférence de Rio (1992), fait l'objet d'un large consensus et compte désormais parmi « les valeurs que la société française, les peuples européens et la communauté internationale désirent promouvoir pour organiser leur mode de développement » (Godard et Hubert, 2002). L'application sectorielle de ce concept aux systèmes de production agricole présente un véritable enjeu de société en raison de la position stratégique de ce secteur d'activité. En effet, en tant que segment amont des filières de production, et par sa localisation et son étendue, l'agriculture occupe une position sociétale stratégique et fournit toute une série de services autres que la production de denrées, telles que les aménités rurales et environnementales (Boiffin *et al.*, 2004). Face à ce constat et à la crise du modèle agricole productif (pollutions diverses, pression sur les ressources non renouvelables, déstructuration des paysages et de la qualité de vie…), divers collectifs de travail, regroupant des acteurs de métiers et de structures variés cherchent à évaluer des systèmes de production en grande culture pour identifier les plus performants en termes de durabilité ou à en élaborer de nouveaux au service d'un développement plus durable.

Au cours de ces dernières décennies, de nombreuses méthodes d'évaluation des systèmes de production agricole ont été mises au point. Cependant, la plupart de ces méthodes ne considèrent ou ne privilégient que l'un des aspects de la durabilité, le plus souvent environnemental, avec un niveau d'analyse centré soit sur une filière de production (les Analyse de cycle de vie, par exemple) soit sur l'exploitation agricole et son assolement, ou encore sur une culture réalisée dans une parcelle (Bockstaller et *al.,* 2008a &b). Par ailleurs, s'il existe une grande diversité de méthodes d'évaluation des systèmes de production agricole en France, l'échelle du système de culture faisant référence à l'ensemble des pratiques réalisées au cours d'une succession culturale sur une parcelle ou un ensemble de parcelles conduites de manière homogène reste encore peu traitée (Sebillotte, 1990). Pourtant, cette échelle décisionnelle offre une résolution spatiale suffisamment fine pour évaluer les impacts des interventions culturales effectuées à l'échelle parcellaire et une échelle temporelle suffisamment longue pour juger des performances productives et sociales attendues ainsi que des effets cumulatifs des systèmes sur l'environnement.

Dans cette optique, l'outil d'évaluation MASC (pour *Multi-attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems*) a été développé par un groupe d'agronomes provenant de quatre unités de l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et d'AgroParisTech. La première version du modèle (Sadok *et al*., 2009) a été mise à l'épreuve en conditions réelles par des utilisateurs d'origines diverses (recherche publique, chambres d'agriculture, instituts techniques et lycée agricole). Le recueil et l'analyse des retours d'expériences des premières utilisations ont permis d'identifier plusieurs voies d'amélioration qui ont conduit à la mise au point d'une deuxième version du modèle, présentée dans cet article.

Après avoir rappelé dans une première partie les objectifs et les choix majeurs retenus pour construire MASC 2.0, le modèle d'évaluation sera présenté en tant que tel dans une deuxième partie et sera ensuite discuté et mis en perspective.

1-Objectifs du modèle, choix majeurs, modalités de construction

MASC 2.0 a été développé pour aider les acteurs de la recherche et du développement agricole à évaluer et à classer des systèmes de culture, en identifiant leurs forces et faiblesses à partir d'une grille d'évaluation compatible avec les exigences du développement durable. Lors de la conception de l'outil une attention particulière a été accordée pour le doter d'une généricité importante permettant de ne pas restreindre les utilisations possibles.

Ainsi, l'outil a été développé pour réaliser des évaluations *a priori* (sur des systèmes de culture fictifs, avant leur mise en œuvre *in situ*) mais aussi des évaluations *a posteriori* (sur des systèmes de culture existants, déjà pratiqués au champ) à des fins de diagnostic. Le premier cas d'évaluation, encore peu exploré dans les outils développés jusqu'ici, est pourtant très utile et offre la possibilité de concevoir et de sélectionner rapidement des systèmes innovants prometteurs sans avoir besoin de tester au champ toutes les alternatives possibles (Sadok et *al.,* 2008). La mise au point et l'application d'un outil d'évaluation *a priori* est cependant plus difficile car les informations nécessaires pour décrire le système de culture et le contexte de mise en œuvre ne sont pas toujours bien connues. Cet aspect a donc conduit les concepteurs à retenir comme support informatique du modèle un logiciel d'aide à la décision qualitatif appartenant à la famille des MADM (*Multiple-Attribute Decision-Making*). Ce type de modèle repose sur des variables qualitatives facilitant le renseignement de certains critères d'évaluation pour lesquels des informations descriptives de nature quantitative ne sont pas disponibles (Sadok et *al.,* 2008). Par ailleurs, les indicateurs proposés sont essentiellement fondés sur une description des pratiques culturales planifiées et ne nécessitent donc pas de mesures ou d'observations sur la parcelle (variables inaccessibles dans une évaluation a *priori*).

La volonté de proposer un outil utilisable dans une large gamme de situations s'est également concrétisée à travers la mise au point d'un cadre d'évaluation regroupant les principaux enjeux de durabilité associés aux systèmes de cultures assolées, ainsi que par le maintien d'une importante flexibilité dans son paramétrage pour tenir compte des contingences territoriales et des préférences des utilisateurs. En effet, comme le soulignent certains auteurs, le concept de développement durable est à la croisée de la science et de la politique (Froger et Oberti, 2002 ; Kestemon, 2004). La dimension scientifique de ce concept rappelle que le développement durable s'inscrit sous certaines contraintes objectives, mesurables scientifiquement (par exemple : la pollution de l'eau, l'épuisement des ressources naturelles). La dimension politique du développement durable indique que cette notion se réfère aussi à un projet de société et est associée par conséquent à une part de subjectivité inévitable. Cette deuxième dimension attire l'attention sur le fait que le succès d'un projet orienté vers cet objectif est fortement conditionné, surtout au niveau local, par une réelle implication des acteurs socio-économiques dans les processus de décision (Froger et Oberti, 2002 ; Kestemon, 2004). Ainsi, dans MASC 2.0, une importante flexibilité a été accordée pour intégrer les préférences des utilisateurs à différents niveaux du paramétrage (*§* 2-1) afin de construire des évaluations et donc des décisions qui soient les plus légitimes.

La construction d'un outil d'évaluation générique repose en partie sur la sélection et la structuration de critères d'évaluation. Vis-à-vis de la structure générale du modèle, les concepteurs de MASC 2.0 ont choisi d'ordonner les critères relatifs au développement durable selon les trois dimensions usuellement utilisées : dimensions économique, sociale, et environnementale. Bien qu'il existe d'autres manières de décliner le concept de développement durable (par exemple sous forme de propriétés systémiques, Lòpez-Ridaura *et al.*, 2005), cette structuration des critères d'évaluation selon ces trois dimensions fait l'objet d'un assez large consensus entre acteurs et s'avère maintenant très largement répandue. Elle a donc été préférée pour faciliter l'utilisation du modèle et l'interprétation des résultats. Par ailleurs, concernant le choix des critères d'évaluation, une attention toute particulière a été apportée pour ne pas évaluer les systèmes de culture de manière auto-centrée, c'est-à-dire en ne considérant que leurs aptitudes à s'auto-reproduire par et pour eux-mêmes, selon une approche qualifiée de « durabilité restreinte » (Terrier *et al.,* 2010 ; Boiffin *et al.*, 2004). Pour considérer également les préoccupations des

niveaux d'organisations englobants (exploitations, filières de production et société dans son ensemble), plusieurs critères participant à la « durabilité étendue » ont été ajoutés. Ce choix méthodologique vise à mieux considérer l'interdépendance entre l'agriculture et la société et donc à éviter une approche « autonomiste » de l'agriculture (Boiffin *et al*., 2004).

Le choix et la mise en œuvre opérationnelle de ces principes dans MASC 2.0 ont été réalisés par les concepteurs de l'outil (agronomes provenant de différentes unités de l'INRA et d'AgroParisTech) en s'appuyant sur les remarques des premiers utilisateurs et sur un large panel d'experts intervenus ponctuellement lors de la phase de conception (agronomes généralistes et spécialisés, écologue, économiste, ergonomes).

2- Présentation du modèle d'évaluation multicritère MASC 2.0

2-1 MASC 2.0, un modèle d'évaluation mis en œuvre grâce à un logiciel d'aide à la décision

MASC 2.0 est un modèle d'évaluation multicritère mis en œuvre avec le logiciel d'aide à la décision qualitatif DEXi (Bohanec, 2011) qui permet de décomposer tout problème décisionnel complexe en sous-problèmes plus faciles à résoudre. Dans ce modèle, chaque préoccupation relative au développement durable est représentée par un critère d'évaluation renseigné par une valeur qualitative du type «faible », « moyen », « élevé ».

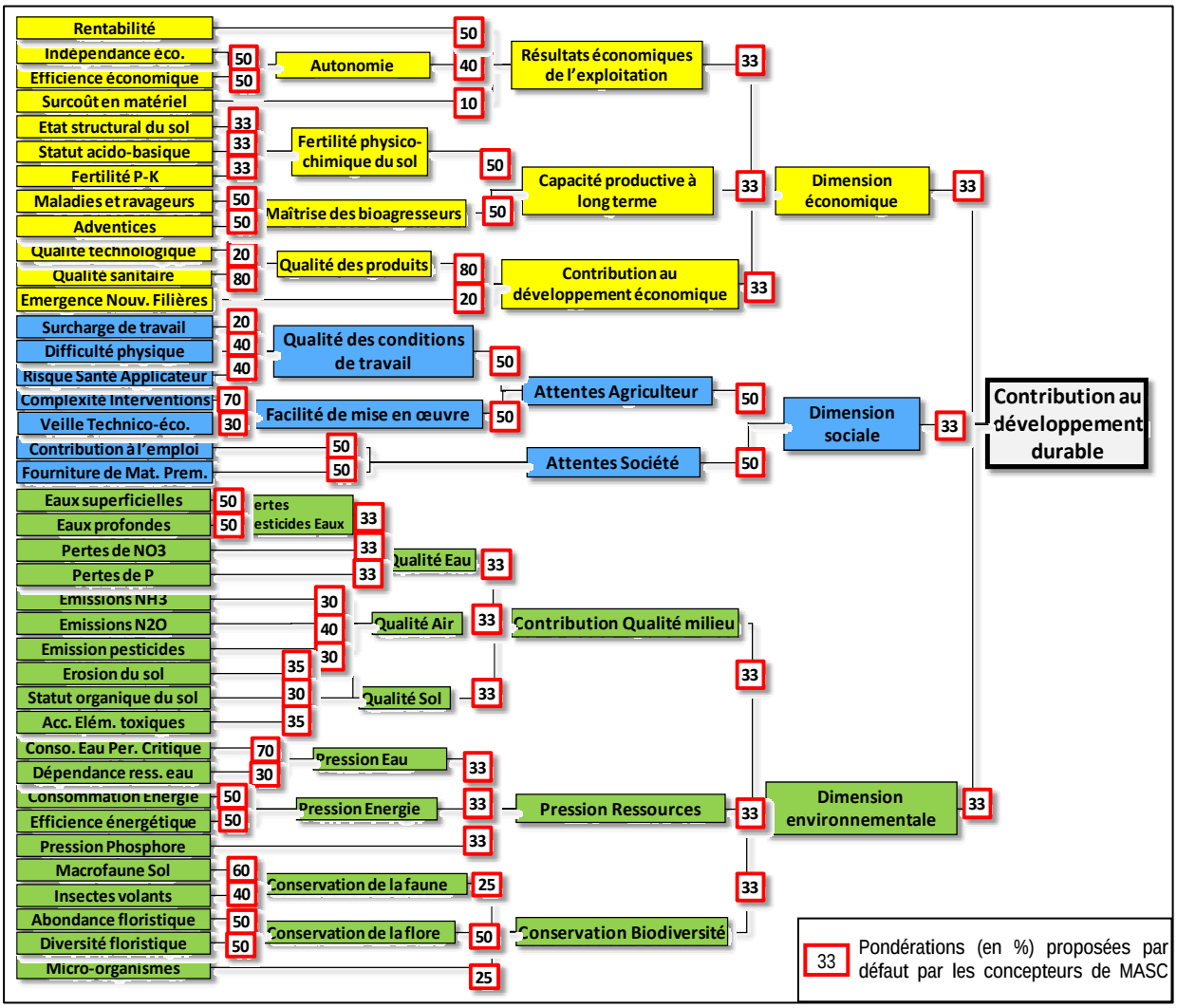


Figure 1 : Arborescence hiérarchique de la contribution au développement durable dans le modèle MASC 2.0

Dans la structure du modèle, ces critères sont organisés selon une arborescence hiérarchique (Figure 1). On retrouve dans cette arborescence deux types de critères : les critères basiques et les critères agrégés.

- Les critères basiques (feuilles de l'arbre) sont situés aux extrémités de chaque branche (critères alignés sur la partie de gauche en Figure 1). Dans MASC 2.0, ces critères sont au nombre de 39 et correspondent tous à une préoccupation élémentaire du développement durable (exemple : Rentabilité, Pertes de NO_3^-…). Ces critères sont renseignés par une valeur qualitative obtenue grâce à un indicateur.
- Les critères agrégés (nœuds de l'arbre), situés en amont des critères basiques, associent pas à pas l'information comprise dans les critères de niveaux inférieurs dont ils dépendent jusqu'à un critère d'évaluation unique permettant de porter un jugement synthétique sur leur contribution au développement durable. Les agrégations sont effectuées pour chaque critère grâce à des « fonctions d'utilité » qui se matérialisent par des tableaux renseignés à dires d'experts selon un raisonnement qualitatif du type « si-alors » tel que : SI <*critère 1 est très faible*> ET SI <*critère 2 est faible à moyen*> ALORS <*critère agrégé est très faible*> (Figure 2).

	Satisfaction des attentes de la societe	Satisfaction des attentes de l agriculteur	Dimension sociale
	50%	50%	
1	**tres faible**	<=**faible a moyenne**	**tres faible**
2	<=faible a moyenne	**tres faible**	**tres faible**
3	**tres faible**	***moyenne a elevee***	**faible**
4	faible a moyenne	**faible a moyenne**	**faible**
5	moyenne a elevee	**tres faible**	**faible**
6	**tres faible**	***tres elevee***	moyenne
7	faible a moyenne	***moyenne a elevee***	moyenne
8	moyenne a elevee	**faible a moyenne**	moyenne
9	***tres elevee***	**tres faible**	moyenne
10	faible a moyenne	***tres elevee***	***elevee***
11	moyenne a elevee	***moyenne a elevee***	***elevee***
12	***tres elevee***	**faible a moyenne**	***elevee***
13	>=moyenne a elevee	***tres elevee***	***tres elevee***
14	***tres elevee***	>=***moyenne a elevee***	***tres elevee***

Figure 2 : Illustration d'une fonction d'utilité de MASC 2.0. La fonction présentée ici permet d'attribuer une valeur au critère agrégé « dimension sociale » à partir des critères « Satisfaction des attentes de la société » et « Satisfaction des attentes de l'agriculteur » prenant chacun un poids relatif de 50%.

Les fonctions d'utilité peuvent être renseignées manuellement ou de manière semi-automatique en accordant un poids (exprimé en %) à chaque critère d'évaluation. Pour faciliter l'utilisation du modèle, toutes les fonctions d'utilité ont été pré-renseignées par défaut par les concepteurs. Néanmoins, les utilisateurs sont invités à modifier les pondérations proposées pour décliner leur propre vision du développement durable, en respectant certaines limites imposées parfois par les concepteurs de l'outil.

Dans le modèle, trois types d'indicateurs sont proposés pour renseigner les critères basiques :

1°) les indicateurs fondés sur des variables calculées à partir de références technico-économiques (exemples : marge semi-nette, efficience économique) ou des références agro-environnementales en utilisant des modèles opérationnels (exemples : indicateurs INDIGO®). Pour ce type d'indicateur, les variables quantitatives calculées sont discrétisées en variables qualitatives compatibles avec le logiciel DEXi grâce à des valeurs-seuils. Par exemple, pour le critère « Rentabilité », les résultats du calcul de la marge semi-nette peuvent être basés sur des valeurs de limites de classes, recouvrant la diversité des marges observée dans une région (exemples : 200 €/ha ; 400 €/ha et 600 €/ha).

2°) les indicateurs renseignés à dire d'experts (exemples de critères : « Complexité de mise en œuvre » des systèmes de culture, « Contribution à l'émergence de nouvelles filières »). Pour

ce type d'indicateur, plusieurs recommandations ont été édictées par les concepteurs pour faciliter l'affectation d'une classe qualitative à dire d'experts.

3°) les indicateurs composites élaborés par expertise dirigée grâce à des arbres dits « satellites » mis en œuvre sur DEXi (exemples : « Maîtrise des adventices », « Conservation de la macrofaune du sol »). Ce dernier type d'indicateurs est proposé pour répondre à des domaines de préoccupation relativement complexes, ne pouvant pas être évalués par un mode de calcul simple et pour lesquels il n'existait pas d'approche opérationnelle de type INDIGO®. Un exemple d'arbre « satellite » permettant d'évaluer le critère basique « Maîtrise de l'état structural » est présenté ci-après (Figure 3).

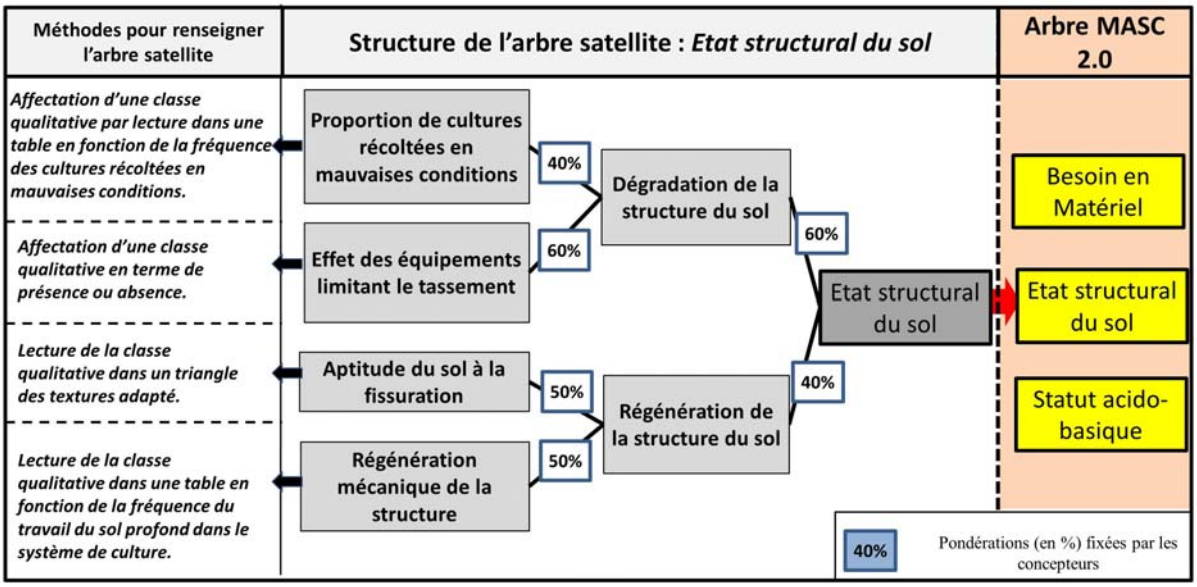


Figure 3 : Exemple d'un arbre satellite proposé dans MASC 2.0 pour renseigner le critère basique « Maîtrise de l'état structural du sol », appartenant à la dimension économique du développement durable).

Les arbres satellites sont considérés comme des indicateurs et, à ce titre, leurs sorties permettent de renseigner les critères basiques de l'arbre principal (Figure 3). En pratique, ces arbres satellites ne sont pas directement connectés à l'arborescence principale dans le logiciel ce qui permet de ne conserver dans ce dernier que les critères associés à une préoccupation du développement durable. Cette démarche a été adoptée pour simplifier l'intervention des utilisateurs dans le paramétrage du modèle et pour faciliter sa lecture en préservant l'homogénéité des critères. En effet, les éléments constitutifs des arbres satellites sont de nature différente et s'apparentent plutôt à des paramètres de calcul ; ils sont donc agrégés selon des connaissances scientifiques et les pondérations ont été « fixées » par les concepteurs. *A contrario*, dans l'arborescence de MASC 2.0, tous les critères associés à un enjeu du développement durable sont agrégés selon les préférences des utilisateurs et les pondérations sont, par conséquent, modifiables. Cette séparation entre le mode d'évaluation et la préoccupation à laquelle il répond a aussi été effectuée pour permettre et faciliter le remplacement par les utilisateurs, s'ils le souhaitent, d'un indicateur proposé par un autre plus adapté aux conditions locales.

Dans MASC 2.0, conformément à la demande des premiers utilisateurs, les modifications réalisées sur la structure du modèle par rapport à MASC 1.0 ont consisté à mieux considérer certains domaines de préoccupation dans l'évaluation et à améliorer son aptitude à discriminer les systèmes évalués.

Ainsi, plusieurs critères ont été insérés pour mieux prendre en compte la durabilité étendue dans les branches économique et sociale (exemples de critères : « Fourniture de matières premières », « Contribution à l'émergence de nouvelles filières », « Qualité sanitaire des produits »). La structure de l'arbre a aussi été adaptée pour intégrer des critères relatifs à la qualité de la gestion agronomique. Leur introduction s'inspire des travaux effectués dans une déclinaison de MASC 1.0 réalisée pour

l'évaluation de systèmes de grande culture en Agriculture Biologique (Colomb *et al.*, 2010 ; Colomb *et al.,* 2011). Ces critères, permettant de porter un jugement synthétique sur la maîtrise des bioagresseurs et de la fertilité physico-chimique, ont été insérés dans la dimension économique afin d'estimer l'évolution de la « Capacité productive à long terme » des parcelles exploitées (Figure 1). Ce positionnement dans l'arborescence du modèle place ainsi la préservation du potentiel de production en tant qu'enjeu de durabilité majeur intéressant à la fois les agriculteurs, les filières et la société dans son ensemble (en participant notamment à l'approvisionnement d'un territoire en matières premières d'origine agricole). D'autres branches de l'arbre ont été significativement modifiées en s'appuyant sur des expertises scientifiques. Par exemple, la branche « Conservation de la biodiversité » de la dimension environnementale a été profondément modifiée en s'inspirant notamment du modèle DEXiPM (Messéan *et al.,* 2010) pour faire explicitement référence aux groupes d'organismes peu mobiles inféodés à la parcelle et donc fortement dépendants des pratiques culturales (*i.e.* la flore adventice, la macrofaune du sol, les insectes volants et les micro-organismes du sol).

Comme beaucoup de modèles d'évaluation qualitatifs, MASC 1.0 a présenté un manque de sensibilité se traduisant par une difficulté à discriminer les systèmes de culture au niveau du critère « Contribution au développement durable ». Afin de pallier cette faiblesse, des analyses de sensibilité ont été menées et ont permis d'identifier plusieurs leviers pour améliorer significativement l'aptitude du modèle à distinguer les systèmes évalués au niveau du critère racine de cette deuxième version du modèle (Bergez *et al.*, 2010). Cela s'est notamment traduit par une restriction du nombre de niveaux d'agrégation (profondeur de l'arbre), par un rééquilibrage du nombre de critères dans les trois branches de l'arbre et par la formulation de plusieurs recommandations dans les documents d'accompagnement pour aider les utilisateurs à paramétrer le modèle (Craheix *et al.*, 2011).

2-2 Positionnement et utilisations possibles de MASC 2.0 dans un projet d'évaluation

L'utilisation de MASC 2.0 dans des projets d'évaluation se décompose selon trois étapes : (1) la description des systèmes de culture à évaluer, (2) l'évaluation multicritère avec MASC et (3) l'analyse des résultats (Figure 4).

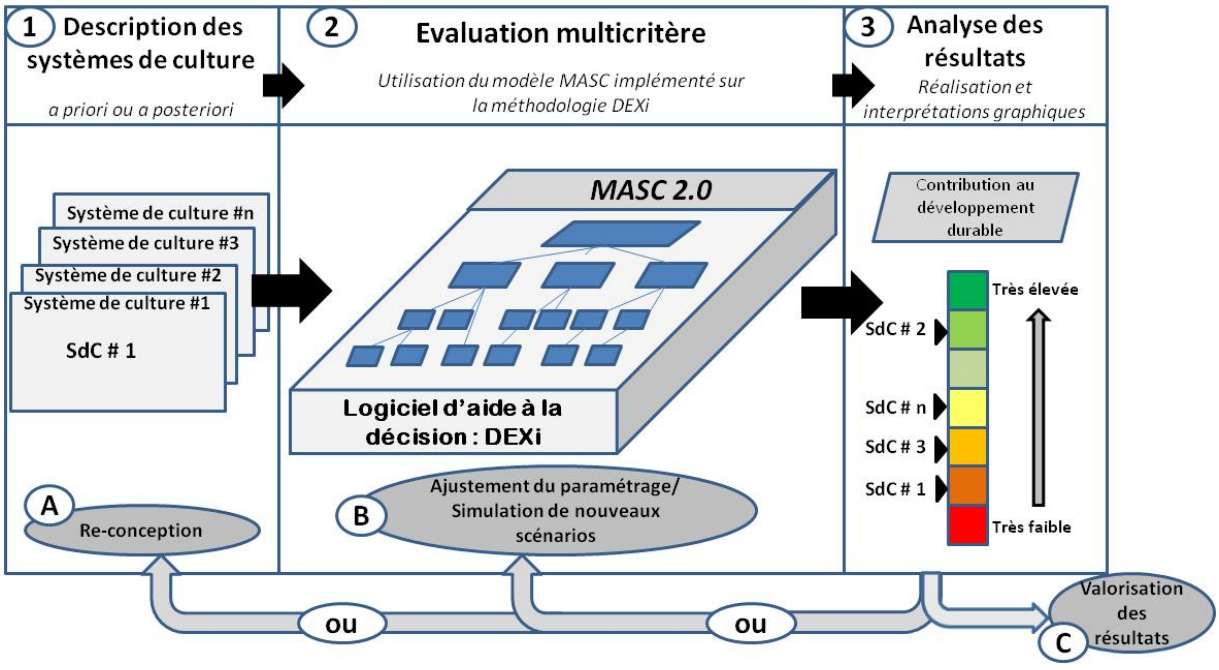


Figure 4 : Positionnement et utilisation de MASC 2.0 dans un projet d'évaluation de la contribution des systèmes de culture au développement durable (Sadok *et al*., 2009)

La première étape consiste à décrire les systèmes de culture à évaluer. Dans le cadre d'une évaluation *a posterori* avec MASC 2.0, les systèmes doivent être décrits tels qu'ils sont le plus généralement conduits dans le contexte d'étude, dans la durée. Cette précaution nécessaire permet de caractériser avec fidélité les systèmes de culture en écartant les variantes mineures issues de l'effet des facteurs conjoncturels sur les pratiques réalisées (accidents climatiques, hausse ou baisse brutale du prix des intrants,…). Il est alors possible de reconstruire des systèmes de culture « types » en conciliant les données factuelles disponibles (obtenues par exemple à partir d'enquêtes, d'entretiens ou d'enregistrements) et le système décisionnel de l'agriculteur (obtenu par des entretiens et/ou des enquêtes) (ITAB, 2011). Pour l'évaluation *a priori*, le processus de conception et de description *de novo* des systèmes de culture peut être effectué entièrement à partir de connaissances expertes (Lançon *et al.,* 2008), en mobilisant des modèles adaptés (Dogliotti *et al.*, 2003; Jeuffroy *et al.*, 2008) ou en associant conjointement ces deux approches.

La deuxième étape consiste à renseigner tous les critères basiques de MASC grâce aux indicateurs proposés (ou ceux-ci jugés adéquats par les utilisateurs dans leur contexte). Dans MASC 2.0, ces indicateurs peuvent être :

- renseignés directement par une variable qualitative affectée à dire d'experts,
- calculés puis discrétisés selon des valeurs-seuils de façon à pouvoir convertir les valeurs obtenues en variables qualitatives compatibles avec le logiciel DEXi.

Les systèmes de culture sont alors représentés sous la forme d'un vecteur de 39 critères qualitatifs. Après l'adaptation éventuelle des fonctions d'utilité pour intégrer les préférences des utilisateurs dans le paramétrage, ce vecteur est ensuite traité par le modèle MASC 2.0 pour obtenir une évaluation synthétique et un classement des systèmes de culture vis-à-vis de leur contribution au développement durable.

La troisième étape consiste à analyser et interpréter les résultats de l'évaluation. Ici, l'interprétation des résultats ne doit pas être centrée sur le seul critère synthétique de la contribution au développement durable. Comme la plupart des modèles d'évaluation de la durabilité, MASC 2.0 doit plutôt être utilisé comme un tableau de bord en analysant l'ensemble des valeurs prises par les critères d'évaluation ayant conduit à ce résultat (critères basiques et agrégés). Cette démarche permet de porter un jugement éclairé et critique en analysant les forces et faiblesses des systèmes ayant conduit à cette note finale. A cet égard, il est possible de comparer les performances des systèmes de culture en réalisant des histogrammes, des diagrammes, des radars et des graphiques synoptiques pour considérer les résultats obtenus sur l'ensemble des critères.

Si l'utilisateur n'est pas satisfait par les résultats obtenus, MASC 2.0 peut être utilisé dans le cadre d'une démarche de conception/évaluation. Ainsi, il est possible de modifier les systèmes de culture évalués une première fois voire même d'en re-construire de nouveaux en s'appuyant sur les forces et faiblesses identifiées lors de la première boucle d'évaluation (*cf.* A – Figure 4). Les nouveaux systèmes de culture mis au point peuvent ensuite être évalués *via* la réalisation d'une seconde itération du modèle pour vérifier que les changements apportés ne dégradent pas les valeurs prises par d'autres critères d'évaluation. Cette démarche peut notamment permettre d'identifier un effet antagoniste de certaines pratiques.

Toujours dans le cadre d'une démarche d'évaluation itérative, le modèle MASC, grâce à la flexibilité de son paramétrage, peut aussi être utilisé pour comparer les performances des systèmes de culture en simulant des changements de contexte et d'enjeux (*cf.* B – Figure 4). A titre d'exemple, plusieurs scénarios peuvent être simulés en modifiant (i) les données utilisées pour calculer les indicateurs (prix de vente des produits récoltés, coût d'achat des intrants…), (ii) les valeurs-seuils des indicateurs afin d'augmenter par exemple le niveau d'exigence sur les performances évaluées, (iii) les pondérations pour modifier les priorités de développement durable et simuler des changements d'enjeu en accordant

plus de poids à certains critères, relatifs par exemple aux résultats économiques de l'exploitation, à la qualité de l'eau, à la préservation de la biodiversité…

Enfin, concernant la valorisation des résultats (*cf.* C - Figure 4), pour l'instant seuls les résultats obtenus en utilisant la version MASC 1.0 par les premiers utilisateurs peuvent être évoqués (Blazy et Tirolien, 2010 ; Colomb *et al.*, 2010 ; Giteau *et al.*, 2010 ; Omon *et al.*, 2010 ; Petit et Reau, 2010 ; Scopel *et al.*, 2010). Ceux-ci recouvrent déjà une grande diversité de cas de figure :

- Conception et sélection de systèmes de culture pour tester les plus performants *in situ*
- Aide à la réflexion d'agriculteurs sur les orientations possibles de leurs exploitations *via* un diagnostic global des systèmes de culture pratiqués
- Communication auprès d'agriculteurs et porteurs d'enjeux variés pour identifier les atouts et freins à l'adoption de certains systèmes de culture
- Communication synthétique sur les résultats des systèmes de culture innovants étudiés, en interne aux groupes professionnels impliqués dans l'étude et vers l'extérieur
- Sensibilisation d'étudiants dans le cadre d'un module de formation à la conception et à l'évaluation des systèmes de culture
- Aide à la réflexion collective autour des objectifs et des priorités de développement durable à appliquer aux systèmes de culture pour des agriculteurs, conseillers agricoles, étudiants

3- Discussion

3-1 Choix stratégiques retenus

Le cadre conceptuel du développement durable retenu dans MASC 2.0 s'avère très utile pour évaluer de manière globale les systèmes de culture en prenant en compte la diversité des objectifs qui leur sont assignés. Ce cadre d'analyse invite en effet les utilisateurs à considérer simultanément :

- les performances économiques, sociales et environnementales des systèmes ;
- des échelles de temps variées faisant référence à des objectifs à court terme (exemple : la rentabilité), à moyen terme (exemple : les risques pour la santé) et à long terme (exemple : le réchauffement climatique) ;
- les attentes et préoccupations des niveaux d'organisation socio-économiques en inter-dépendance avec les systèmes évalués.

Bien que certains de ces aspects intrinsèques au « cahier des charges » du développement durable puissent apparaître conflictuels, aucun d'entre eux ne peut être négligé dans le cadre d'une étude globale et systémique des performances des systèmes de culture. L'intégration de ces exigences dans la conception d'un outil d'évaluation, quel qu'il soit, induit néanmoins quelques contraintes associées à l'échelle d'évaluation considérée. Avec MASC 2.0, l'échelle parcellaire offre une résolution suffisamment fine pour considérer l'effet des interventions culturales sur les déterminants de la durabilité, mais ne permet pas de prendre en compte avec précision le contexte et les processus extra-parcellaires. Ceci limite de fait le domaine d'applicabilité de l'outil et implique parfois de faire des hypothèses sur le contexte socio-économique environnant (surtout pour les critères relatifs à la durabilité étendue). A titre d'exemple, l'affectation d'un jugement sur la qualité sanitaire et technologique des produits implique de considérer l'efficacité du système de culture en tant que tel mais nécessite aussi de se référer au niveau d'exigence supposé de la filière.

L'autre principale originalité de l'outil réside dans l'importante flexibilité du paramétrage. Bien que la mise au point d'un outil d'évaluation opérationnel implique de constituer un référentiel d'évaluation, les concepteurs de MASC 2.0 ont veillé à ne pas imposer leur conception du développement durable en offrant la possibilité aux utilisateurs d'intégrer leurs préférences dans le paramétrage. Dans MASC 2.0,

cette souplesse se concrétise par une importante liberté d'intervention au niveau du choix des indicateurs (permettant de renseigner les critères basiques) et dans la définition des pondérations entre critères. En contrepartie, plusieurs limites ont été imposées. La première consiste en l'instauration de plusieurs pondérations minimales à ne pas transgresser dans la partie la plus agrégée de l'arbre afin de prévenir une dénaturation du modèle d'évaluation (qui consisterait par exemple à supprimer ou à sous-estimer de manière flagrante une des branches de la durabilité). La deuxième prescription consiste à réaliser un rapport d'évaluation complet dans lequel les résultats sont systématiquement associés à une présentation exhaustive du paramétrage retenu. En effet, l'inévitable part de subjectivité associée à l'intégration des préférences d'acteurs nécessite une transparence rigoureuse dans l'exposition de l'ensemble des choix retenus pour faciliter l'interprétation des résultats et favoriser leur diffusion. Par ailleurs, comme l'attestent les premiers cas d'utilisation du modèle en situations réelles, il semble que ces espaces de liberté dans le paramétrage favorisent la formation de collectifs de travail regroupant des experts et des porteurs d'enjeux locaux variés et augmentent la légitimité et l'acceptabilité de l'évaluation. Dans ces cas de figure, la simplicité du logiciel DEXi (qui agrège les critères de MASC 2.0) facilite l'utilisation de l'outil comme un support de médiation autour des enjeux du développement durable et favorise le partage des connaissances entre les acteurs sollicités.

La plupart des indicateurs de MASC 2.0 repose sur des calculs relativement simples par rapport à des modèles de simulation plus complexes tels qu'en produit la recherche, tout en étant validés scientifiquement. Ce choix méthodologique permet de renseigner les critères basiques plus facilement, en limitant la perte de précision vis-à-vis des résultats d'évaluation attendus. Le renseignement des indicateurs proposés dans MASC 2.0 repose néanmoins sur une description assez fine des pratiques réalisées ou planifiées et sur des valeurs de références technico-économiques (exemples : date d'application, nom, dose et prix des produits épandus). Lors des évaluations *a priori*, le recueil de ces informations incite les utilisateurs à expliciter et à formaliser avec une précision relative les systèmes qu'ils souhaitent évaluer en mobilisant les références disponibles localement. La description *a priori* des systèmes de culture peut toutefois se révéler contraignante surtout lorsque l'outil est utilisé sur des systèmes de culture en rupture avec l'existant. Pour augmenter la pertinence des résultats dans ce type de situation, il est donc vivement recommandé de solliciter des experts bien informés à la fois sur les innovations possibles en cultures assolées et sur le contexte socio-économique et pédo-climatique local (Monnot, 2011). Pour l'estimation des rendements, qui est souvent source de difficultés dans les évaluations *a priori*, des outils simples et rapides à mettre en œuvre comme PERSYST peuvent être utilisés (Guichard, 2010 ; Gombert *et al.,* 2011). Dans le cadre d'une évaluation *a posteriori*, les indicateurs proposés dans MASC 2.0 permettent de valoriser la plupart des informations disponibles, ce qui augmente de fait la précision des résultats. Dans ces deux cas de figure (évaluations *a priori* ou *a posteriori),* le calcul de certains indicateurs pourra être facilité en utilisant des logiciels de calcul appropriés couplés à des bases de données chiffrées, comme les logiciels CRITER (Fortino et Reau, 2010) ou SYSTERRE (Devillers, 2008).

Toutefois, la mise en œuvre de MASC 2.0 ne dispose pas actuellement d'une interface unique regroupant toutes les étapes de l'évaluation multicritère (calcul des indicateurs, discrétisation des valeurs calculées en valeurs qualitatives et agrégation des valeurs qualitatives dans l'arborescence). A terme, l'utilisation de l'outil pourrait donc encore être facilitée à ce niveau.

3-2 Positionnement de MASC 2.0 par rapport à d'autres outils d'évaluation

Ces dernières années, de nombreux outils ont été développés pour évaluer les performances des systèmes de cultures assolées. On peut distinguer des modèles d'évaluation reposant entièrement sur des variables quantitatives comme SALCA basé sur l'analyse de cycle de vie (Nemecek *et al.*, 2008, Jeanneret *et al.*, 2006) ou INDIGO® (Bockstaller *et al.*, 1997 ; 2008a) et des modèles d'évaluation qualitatifs. Dans ce deuxième cas, on peut citer le « *Grignon model* » qui a été développé pour évaluer

l'impact économique et écologique de l'utilisation de maïs transgénique (Bohanec *et al*., 2008) et DEXiPM destiné à évaluer les performances des systèmes de culture intégrés (Messéan *et al.*, 2010). Bien que la conception de MASC 2.0 se soit en partie inspirée de certains de ces modèles pour sélectionner des critères et pour proposer des modes d'évaluation, il s'en distingue sur plusieurs aspects, comme évoqué en introduction.

Parmi tous ces outils, DEXiPM (Messéan *et al.*, 2010) est le seul à être à la fois développé sur DEXi et à proposer, comme MASC 2.0, une évaluation des performances des systèmes de culture sur les trois dimensions du développement durable. Cependant, plusieurs choix stratégiques ayant présidé à leur mise au point permettent de les différencier. DEXiPM a été conçu pour un public de chercheurs et vise à évaluer les performances de systèmes de culture fondés sur les principes de la protection intégrée. Cela se traduit dans la structure du modèle par l'ajout de critères spécifiques de la protection des cultures pour renforcer l'évaluation sur ce point et permettre des comparaisons fines de différentes stratégies de protection. Le modèle étant utilisé en *ex ante* pour l'animation de groupes de conception, il est entièrement qualitatif et se caractérise par une décomposition approfondie de l'arborescence (75 critères basiques et 86 agrégés). Ce choix méthodologique a été retenu pour faciliter le renseignement du modèle à dire d'experts lorsque peu de références sont disponibles sur les systèmes à évaluer.

Enfin, dans DEXiPM, des critères socio-économiques relatifs au contexte extra-parcellaire ont été insérés pour évaluer les performances des systèmes dans leur contexte d'évaluation. Ces critères peuvent alors permettre d'identifier quels sont les verrous à l'innovation et de définir des politiques publiques ou des stratégies de filière plus adaptées en simulant des changements de contexte (Messéan et *al.,* 2010).

Dans MASC 2.0, ce type de critères n'a pas été retenu pour concentrer l'évaluation sur les performances intrinsèques des systèmes de culture et pour homogénéiser la nature des critères considérés dans l'arbre. Dans les projets utilisant MASC 2.0, la compatibilité des systèmes de culture avec le contexte socio-économique doit donc être traitée par expertise avec les acteurs du territoire concernés par l'évaluation lors de l'étape d'interprétation des résultats.

Conclusion et perspectives

L'outil MASC 2.0 a été conçu pour faciliter l'évaluation multicritère de la contribution des systèmes de cultures assolées au développement durable. Il peut être utilisé dans le cadre de diverses études à caractère exploratoire reposant sur un tri argumenté et comparatif de plusieurs systèmes de culture. A ce titre, il peut être utilisé pour faciliter les processus de conception innovante de systèmes de culture ou encore pour simuler leurs performances en faisant varier les enjeux et les priorités du développement durable. Comme les premiers cas d'utilisation en situations réelles le montrent, la flexibilité de son paramétrage et sa simplicité d'usage font aussi de cet outil un support d'échanges et de médiation très utile entre chercheurs, acteurs du développement, agriculteurs et pouvoir publics.

Dans la deuxième version du modèle présentée ici, les modifications réalisées par rapport à MASC 1.0 ont visé en particulier à :

- mieux considérer certains domaines de préoccupation en insérant de nouveaux critères d'évaluation ;
- perfectionner les indicateurs permettant de renseigner les critères pré-existants ;
- améliorer son aptitude à discriminer les systèmes de culture évalués vis-à-vis de leur note finale d'évaluation (*i.e.* résultat du critère « Contribution au développement durable ») ;
- faciliter son utilisation et l'implication des utilisateurs dans son paramétrage.

Concernant ce dernier point, un document d'accompagnement a été élaboré pour présenter les principes d'utilisation de l'outil et pour faciliter sa prise en main par les futurs utilisateurs (Craheix *et al*, 2011 a & b).

La comparaison des premiers résultats obtenus entre MASC 1.0 et MASC 2.0 sur les mêmes systèmes de culture conduits en parcelles expérimentales a permis de mettre en évidence les apports de la nouvelle version tant sur l'amélioration du pouvoir discriminant du modèle que sur son aptitude à produire des résultats conforment avec la réalité observée sur le terrain (Aarninck, 2011). Cet outil devra cependant faire ses preuves par l'usage en situations réelles sur un nombre plus élevé de systèmes de culture contrastés.

Enfin, les limites inhérentes à l'échelle du système de culture traitée dans MASC devront être dépassées par la production d'outils permettant de mieux apprécier la contribution de l'agriculture au développement durable en prenant en compte des dimensions qui s'expriment mieux aux échelles de l'exploitation agricole, du territoire, voire à des échelles encore plus globales.

Remerciements : *Ce projet a été financé par le Groupement d'Intérêt Scientifique « Grande Culture à Hautes Performances Economiques et Environnementales » (GC HP2E) dans le cadre de l'appel à manifestation d'intérêt de 2009.*

Références bibliographiques

Aarnink E., 2011. Adaptation d'un outil d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de culture innovants au contexte de l'Agriculture de Conservation. Mémoire de fin d'études, ENITA de Bordeaux : Gestion Intégrée des Agrosystèmes et des Paysages, 80 p.

Bergez J-E, Carpani M., Monod H., 2010. Analyse de sensibilité du modèle MASC - premiers résultats. Séminaire « Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture », 9 et 10 Mars 2010, Paris, pp. 23-25.

Blazy J-M, Tirolien J., 2010. Adaptation et utilisation de l'outil MASC pour l'évaluation *ex ante* de systèmes de culture bananiers innovants en Guadeloupe. Séminaire « Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture », 9 et 10 Mars 2010, Paris, pp. 11-12.

Bockstaller C., Girardin P., Van Der Werf H. G. M., 1997. Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. European Journal of Agronomy 7, 261-270.

Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A, Girardin P., Plantureux S., 2008. Agrienvironmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. Agron. Sustain. Dev. 281, 139-149.

Bockstaller C., Galan M.B., Capitaine M., Colomb B., Mousset J., Viaux P., 2008. Comment évaluer la durabilité des systèmes en production végétale ? In : Reau R. and Doré T. (Eds.), Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer : Dijon, Educagri, pp. 29-51.

Bohanec M., 2011. DEXi: program for multi-attribute decision making, Version 3.02. Jozef Stefan Institute, Ljubljana. Disponible sur : http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html.

Bohanec M., Messéan A., Scatasta S., Angevin F., Griffiths B., Krogh P.H., Znidarsic M., Dzeroski S., 2008. A qualitative multi-attribute model for economic and ecological assessment of genetically modified crops. Ecol. Model. 215, 247-261.

Boiffin J., Hubert B., Durand N, 2004. Agriculture et développement durable : enjeux et questions de recherche. INRA, Paris, 91 p.

Brundtland G.H., 1987. Notre Avenir à Tous, rapport de la commission mondiale sur L'Environnement et le Développement. Les Editions du Fleuve, Paris. Disponible sur : http://www.wikilivres.info/wiki/Rapport_Brundtland

Colomb B., Aveline A., Carof M., 2011a. Une évaluation multicritère qualitative de la durabilité des systèmes de grandes cultures biologiques, Quels enseignements ? Restitution des programmes RotAB et CITODAB. Document d'analyse PSDR3 Midi-Pyrénées-Projet CITODAB et CAS-DAR RotAB, 43 p. Disponible sur : http://www4.inra.fr/psdr-midi-pyrenees/Resultats-PSDR-MP/Developpement/Methodes-et-outils ou http://www.itab.asso.fr/programmes/rotation.php

Colomb B., Aveline A., Carof M., Fontaine L., Glandières A., Prieur L., Craheix D., 2010. Appropriation et adaptation de MASC par des conseillers agricoles pour l'évaluation de systèmes de culture biologiques. Séminaire « Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture », 9 et 10 Mars 2010, Paris, pp. 13-16.

Colomb B., Fontaine L., Glandières A., Aveline A., Carof M., Celette F., Craheix D., Arino J., Collet S., Garnier J. F , Glachant C., Gouraud J.P. , Haefliger M., Morand P., Moulin V., Perret C., Prieur L., Quirin T. , Renan M., Rossignol E., 2011b. Une approche de la durabilité des systèmes de grandes cultures biologiques spécialisés. Actes du colloque "Transversalités de l'agriculture biologique" de la Société Française d'Economie Rurale & du RMT DévAB. 23 et 24 juin 2011, Strasbourg, 20 p.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T. 2011a. MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Présentation & principes d'utilisation. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 54 p.

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T. 2011b. MASC 2.0, Un outil pour l'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Jeu complet de fiches critères de MASC 2.0. INRA – AgroParisTech – GIS GC HP2E, 133 p.

Devillers O., 2008. Construction d'une base de données pour la caractérisation agronomique, économique et environnementale des Systèmes de cultures : Application à des essais « Systèmes » de l'Institut. Mémoire de fin d'études, Agrocampus Ouest centre de Rennes : Sciences et Productions Végétales, 58 p.

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.

Fortino G., Reau R., 2010. Two separate steps for cropping system assessment: Characterisation and final evaluation. Proceedings of the XIth ESA congress, August 29th-September 3rd, Montpellier, France, pp. 411-412.

Froger G., Oberti P., 2002. L'aide multicritère à la décision participative : une démarche originale de gouvernance en matière de développement durable. Eurocongrès « Développement local, développement régional, développement durable : quelles gouvernances ? », Toulouse, 30 p. Disponible sur : http://euroccat.tls.free.fr/colloquenew/colloque/Comm/Froger-Oberti.doc

Giteau J-L, Heddadj D., Fisson C., 2010. Evaluation multicritère de systèmes de culture innovants en Bretagne, à l'aide de MASC. Séminaire « Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture », 9 et 10 Mars 2010, Paris, pp. 9-10.

Godard O., Hubert B., 2002. Le développement durable et la recherche scientifique à l'INRA. Rapport intermédiaire de mission, 56 p.

Gombert J., Guichard L., Ronceux L., Ballot R., Jeuffroy M.-H., 2011. Conception, avec les futurs utilisateurs, d'un outil de prévision des performances agronomiques de systèmes de culture biologiques innovants en Ile-de-France. Poster présenté au DIM Astrea, Paris, 31 mars.

Guichard L., 2008. PERSYST, un outil d'évaluation des performances agronomiques et environnementales des systèmes de culture. Poster présenté au colloque "Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?" Paris, 27 mars.

ITAB, 2011. Rotations en grandes cultures biologiques sans élevage : 8 fermes types, 11 rotations ; repères agronomiques, économiques, techniques et environnementaux. Rapport d'étude du programme CAS DAR 7055 RotAB, Avril 2011, 132 p. Disponible sur : http://www.itab.asso.fr/programmes/rotation.php

Jeanneret P., Baumgartner D., Freiermuth R., Gaillard G., 2006. Méthode d'évaluation de l'impact des activités agricoles sur la biodiversité dans les bilans écologiques. SALCA-BD. Rapport Agroscope. 67 p.

Jeuffroy M.H., Bergez J.E., David C., Flénet F., Gate P., Loyce C., Maupas F., Meynard J.M., Reau R., Surleau-Chambenoit C., 2008. Utilisation des modèles pour l'aide à la conception et à l'évaluation d'innovations techniques en production végétale : bilan et perspectives. In : R. Reau et T. Doré (Eds.), Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer. Paris, Educagri Editions, pp. 109-128.

Kestemont B., 2004. Critiques des questions de la durabilité. Applications aux indicateurs de développement durable. Mémoire de DEA, IGEAT - Université Libre de Belgique, 223 p. Disponible sur : http://theses.ulb.ac.be/ETD-db/collection/available/ULBetd-07152010-174134/unrestricted/KestemontPhd.pdf

Lançon J., Reau R., Cariolle M., Munier-Jolain N., Omon B., Petit M.-S.,Viaux P., Wery J., 2008. Élaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. In: Reau R., Doré T. (Eds.), Systèmes de Culture Innovants et Durables : Quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri Editions, Dijon, pp. 71–89.

Lòpez-Ridaura S., Van Keulen H., Van Ittersum M.K., Leffelaar P.A, 2005. Multiscale methodological framework to derive criteria and indicators for sustainability evaluation of peasant natural resource management systems. Environment, Development and Sustainability 7, 51–69.

Messéan A., Lô-Pelzer E., Bockstaller C., Lamine C., Angevin F., 2009. Outils d'évaluation et d'aide à la conception de stratégies innovantes de protection des grandes cultures. Innovations Agronomiques 8, 69-81.

Meynard J.M., 2008. Produire autrement : réinventer les systèmes de culture. In : Reau R. et Doré T. (Eds) Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Dijon, Educagri Editions, pp. 11-27.

Monnot L.A., 2011. Analyse de la diversité des démarches de conception collective de systèmes de culture : organisation, rôle, outils. Mémoire de fin d'études, SupAgro Montpellier : Production végétale durable, 57 p.

Nemecek T., Richthofen J.S.v., Dubois G., Casta P., Charles R., Pahl H., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. European Journal of Agronomy 28, 380-393.

Omon B., Lagaise B., Reau R., 2010. Evaluation de systèmes de culture pratiqués par des agriculteurs innovants de l'Eure. Séminaire « Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de culture », 9 et 10 Mars 2010, Paris, pp. 7-8.

Petit M.S., Reau R., 2010. Utilisation de MASC dans le cadre du RMT Systèmes de culture innovants. In : INRA, RMT SdCi (Paris). Séminaire MASC : Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures (9 et 10 mars 2010), pp. 5-6

Sadok W., Angevin F., Bergez J.E, Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messéan A., 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.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2008a. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: guidelines for identifying relevant multi-criteria decision aid methods. Agron. Sustain. Dev. 28, 163-174.

Scopel E., Flandin M.A., Xavier J.H.V., Corbeels M., da Silva F.A.M., Affholder F., Angevin F., de Tourdonnet S., David C., 2010. Évaluation multicritère de l'intérêt de systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) dans le contexte de petits producteurs familiaux des Cerrados brésiliens : premières expériences de l'utilisation de MASC. Séminaire MASC : Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures (9 et 10 mars 2010), pp. 17-18.

Sebillotte M., 1990. Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : Combe L., Picard D. (Eds). Le point sur… les systèmes de culture, INRA Editions, Paris, 165-196.

Terrier M., Gasselin P., Le Blanc J., 2010. Evaluer la durabilité des systèmes d'activités des ménages agricoles pour accompagner les projets d'installation en agriculture : la méthode EDAMA. ISDA 2010, Montpellier, 13 p.