

Contribution au developpement durable

MASC

Version 2.0



- Contribution a la dimension economie
 - Resultats economiques du systeme
 - Rentabilite
 - Autonomie economique
 - Independance economique
 - Efficience economique
 - Surcout en materiel
 - Capacite productive a long terme
 - Maitrise de la fertilite physico-chimique
 - Maitrise du statut acido-basique du sol
 - Maitrise de l etat structural du sol
 - Maitrise de la fertilite phosphopota
 - Maitrise des bioagresseurs
 - Maitrise des maladies et ravageurs
 - Maitrise des adventices
 - Contribution au developpement durable
 - Qualite des produits
 - Qualite sanitaire
 - Qualite technologique
 - Contribution a l'emploi
 - Contribution a la dimension sociale
 - Satisfaction des acteurs
 - Contribution a l'emploi
 - Fourniture de matieres premieres
 - Satisfaction des attentes
 - Facilite de mise en oeuvre
 - Complexite des systemes
 - Temps de veille
 - Qualite des conditions de travail
 - Surcharge de travail
 - Risque pour la sante
 - Difficulte physique
 - Contribution a la dimension environnementale
 - Contribution a la qualite de l'eau
 - Maitrise des pertes de N
 - Maitrise des pertes de P
 - Maitrise des pertes de pesticides
 - Maitrise des pertes de produits phytosanitaires
 - Maitrise des pertes de produits phytosanitaires
 - Maitrise des pertes de produits phytosanitaires
 - Contribution a la qualite de l'air
 - Maitrise des emissions de NH3
 - Maitrise des emissions de pesticides
 - Maitrise des emissions de N2O
 - Maitrise des emissions de CO2
 - Maitrise du statut organique
 - Maitrise de l'erosion
 - Pression sur les ressources abiotiques
 - Pression Eau
 - Conso. en eau d irrigation en periode critique
 - Dependance vis a vis de la ressource en eau
 - Pression Energie
 - Consommation d energie
 - Efficience energetique
 - Pression Phosphore
 - Conservation de la biodiversite
 - Conservation de la macrofaune
 - Conservation des insectes volants
 - Conservation de la macrofaune du sol
 - Conservation de la flore
 - Abondance floristique

Un outil pour l'analyse de la contribution des systemes de culture au developpement durable

Présentation & principes d'utilisation



INRA

AgroParisTech
INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES



GRANDE CULTURE
GCHP2E
Hautes Performances Economiques et Environnementales

Liste des concepteurs de la méthode MASC

Sous la direction de **Thierry Doré**
Responsable scientifique
AgroParisTech - UMR 211 INRA/AgroParisTech
Bâtiment EGER
BP 01
78850 Thiverval-Grignon
thierry.dore@agroparistech.fr

Frédérique Angevin
INRA – unité Eco-Innov
BP 01
78 850 Thiverval-Grignon
Frederique.Angevin@jouy.inra.fr

Jacques-Eric Bergez
INRA - UMR AGIR (Agrosystèmes et développement territorial)
B.P. 52627 Auzeville
31326 Castanet Tolosan
Jacques-Eric.Bergez@toulouse.inra.fr

Christian Bockstaller
INRA/Nancy-Université
BP 20507
68021 Colmar Cedex
Christian.Bockstaller@colmar.inra.fr

Bruno Colomb
INRA - UMR AGIR (Agrosystèmes et développement territorial)
B.P. 52627 Auzeville
31326 Castanet Tolosan
Bruno.Colomb@toulouse.inra.fr

Laurence Guichard
INRA - UMR 211 INRA/AgroParisTech
Bâtiment EGER
BP 01
78850 Thiverval-Grignon
guichard@grignon.inra.fr

Raymond Reau
INRA - UMR 211 INRA/AgroParisTech
Bâtiment EGER
BP 01
78850 Thiverval-Grignon
Raymond.Reau@grignon.inra.fr

Intervention spécifique sur MASC 1.0

Walid Sadok
INRA/AgroParisTech - UMR 211
Bâtiment EGER
BP 01
78850 Thiverval-Grignon
walid.sadok@gmail.com

Intervention spécifique sur MASC 2.0

Damien Craheix
INRA/AgroParisTech - UMR 211
Bâtiment EGER
BP 01
78850 Thiverval-Grignon
Damien.craheix@grignon.inra.fr

Pour citer ce document :

Craheix D., Angevin F., Bergez J.-E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Sadok W., Doré T (2011). *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, 49 p.

Sommaire

Préambule	1
1- Rappel sur la notion de développement durable appliquée à l'agriculture.....	3
2- Principes et présentation de MASC	3
2-1 Le besoin d'une méthode d'évaluation ex ante de la contribution des systèmes de culture au développement durable	3
2-2 Cadre d'évaluation de la méthode MASC	4
2-2-1 Domaine de validité	4
2-2-2 Publics et situations décisionnelles visés	5
2-3 Choix de l'outil DEXi comme support du modèle d'évaluation MASC.....	5
2-4 Présentation de l'arborescence MASC	6
2-5 Sélection et structuration des critères d'évaluation	8
2-6 Limites de l'évaluation avec MASC	9
2-6-1 Cas des évaluations à des échelles supra-parcellaires et prise en compte des niveaux d'organisation englobants	9
2-6-2 Comparaison des résultats provenant de différents projets d'évaluation	9
2-6-3 Variabilité des données d'entrée et prise en compte des incertitudes	9
2-7 Validation des indicateurs et de la méthode.....	9
3- Présentation et recommandations sur la démarche d'évaluation avec MASC	10
3-1 Démarche générale d'évaluation.....	10
3-2 Définition des objectifs de l'évaluation.....	10
3-3 Description des systèmes de culture à évaluer.....	11
3-4 Adaptation et paramétrage du modèle d'évaluation	12
3-4-1 Principe et adaptation des valeurs-seuils	12
3-4-2 Principe et adaptation des pondérations	12
3-5 Interprétation et présentation des résultats.....	16
3-5-1 Réalisation d'un rapport d'évaluation	16
3-5-2 Quelques exemples de sorties graphiques possibles.....	16
3-5-3 Utilisation de l'outil dans une démarche d'évaluation itérative.....	19
4- Exemple d'application à un cas pratique en Bourgogne.....	19
4-1 Définition des objectifs.....	19
4-2 Caractérisation des systèmes de culture	20
4-3 Adaptation du modèle MASC au cas 'Bourgogne'.....	22
4-3-1 Définition des classes qualitatives : choix de valeurs-seuils	22
4-3-2 Adaptation des règles d'agrégation dans l'arbre.....	23
4-4 Evaluation globale des systèmes de culture.....	24
4-5 Conclusion	26
Glossaire.....	27
Références bibliographiques.....	29
Annexes	31
I. Présentation des premiers utilisateurs et des experts sollicités lors de conception de MASC 2.0	31
II. Tutoriel DEXi.....	33
III. Pondérations livrées par défaut dans MASC 2.0.....	48
IV. Quelques données chiffrées pour faciliter l'évaluation des rendements en ex ante	49

Préambule

Le modèle d'évaluation de systèmes de culture MASC (pour *Multi-Attribute Assessment of the Sustainability of Cropping systems*), dans sa première version, a été mis au point dans le cadre du projet DISCOTECH¹ (2006-2008), partie du Programme Fédérateur « Agriculture et Développement Durable »² financé par l'Agence Nationale de la Recherche. Cette recherche a bénéficié des apports de projets antérieurs :

- Projet européen ECOGEN (2003-2006)³ ;
- Projet européen SIGMEA (2004-2007)⁴ ;
- Projet ADAR « Systèmes de culture innovants », piloté par le CETIOM (Reau *et al.*, 2006 a & b).

Le projet de conception de MASC, proposé et mené par un groupe de chercheurs provenant de différentes unités de l'INRA, avait pour objectif de mettre au point un ensemble méthodologique permettant d'identifier rapidement des systèmes de culture conformes au cahier des charges du développement durable. Une première version de MASC (Version 1.0) a fait l'objet d'une diffusion limitée pendant deux années durant lesquelles MASC a été mis à l'épreuve par divers groupes d'utilisateurs appartenant au monde de la recherche et du développement agricole. Suite à cette phase de test en situation réelle et grâce au soutien du GIS GC HP2E⁵, le groupe des concepteurs de MASC a mis au point la deuxième version présentée ici, d'une part en mobilisant les retours d'expérience et les avis critiques des premiers utilisateurs, et d'autre part en sollicitant les avis de plusieurs experts pour améliorer le mode d'évaluation des [critères](#). Qu'ils soient ici tous remerciés pour avoir accepté de collaborer au développement de cet outil et pour leur contribution à son amélioration.

Les premiers utilisateurs et les différents experts mobilisés pour mettre en œuvre cette deuxième version sont présentés en [Annexe I](#).

L'ensemble méthodologique MASC contient :

- le présent document d'accompagnement dans lequel figurent une présentation de la méthode et des recommandations sur l'usage de l'outil ;
- un document intitulé « 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 » ;
- un dossier contenant les fichiers .dxi dans lesquels le modèle d'évaluation MASC 2.0 est implémenté sur le logiciel DEXi ;
- un utilitaire développé sur Excel pour faciliter le renseignement du logiciel DEXi et pour réaliser des sorties graphiques complémentaires ;
- la documentation relative au mode de calcul des indicateurs issus de la méthode INDIGO[®].

¹ DISCOTECH : DISpositifs innovants pour la COncption et l'évaluation des systèmes TECHniques

² http://www.inra.fr/les_partenariats/programmes_anr/agriculture_et_developpement_durable

³ <http://www.ecogen.dk/>

⁴ <http://sigmea.go.dyndns.org/>

⁵ Groupement d'Intérêt Scientifique Grande Culture à Hautes Performances Économiques et Environnementales

Le logiciel MASC a été bâti par un groupe de chercheurs et enseignants de quatre unités impliquant l'INRA et des établissements d'enseignement supérieur (AgroParisTech, INPL, INPT) : unités Agronomie et Eco-Innov de Grignon, AGIR de Toulouse, LAE de Nancy-Colmar. Il a fait l'objet d'un dépôt à l'APP en janvier 2008 sous sa version 1.0 (propriété INRA/Agroparistech), renouvelé en octobre 2011 sous sa version actuelle 2.0 (N° IDDN.FR.001.040014.001.R.P.2008.000.30100, attribué le 05/10/2011), version qui est propriété des membres du GIS GC-HP2E. L'utilisation de la version 2.0 se fait sous la licence CeCILL-C (http://www.cecill.info/licences/Licence_CeCILL-C_V1-fr.html), le téléchargement valant acceptation de la licence. MASC ne peut être exploité commercialement sans avoir préalablement contacté et obtenu l'accord des propriétaires du logiciel DEXi. La licence CeCILL-C vous permet d'utiliser MASC V2.0 sans limitation sous votre propre responsabilité, les concepteurs et les propriétaires de MASC V2.0 ne pouvant être tenus pour responsables des résultats obtenus. Il est précisé que les éventuelles réutilisations de MASC V2.0 dans des développements logiciels devront suivre les conditions énoncées dans la licence CeCILL-C.

1- Rappel sur la notion de développement durable appliquée à l'agriculture

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 désormais l'objet d'un large consensus sur sa pertinence et sa nécessité, face à l'urgence de la crise écologique et sociale qui se manifeste désormais à l'échelle mondiale (changement climatique, raréfaction des ressources naturelles, faible sécurité alimentaire, perte de biodiversité, catastrophes naturelles et industrielles...). Sa traduction opérationnelle reste cependant sujette à discussion, bien qu'une majorité d'acteurs considèrent que l'objectif du développement durable consiste à concilier les aspects économiques, sociaux et environnementaux des activités humaines (les trois « piliers » du développement durable).

L'application du concept de développement durable à l'agriculture constitue un enjeu particulièrement important, en raison de la position stratégique de ce secteur d'activité en tant que segment amont des filières d'alimentation et en tant que gestionnaire de l'espace rural, où elle occupe une place essentielle en raison de sa localisation, de son étendue et de son rôle vis-à-vis des autres types d'activités humaines présentes (Boiffin *et al.*, 2004). Cependant, la mise en œuvre du développement durable pour des systèmes de production agricole n'est pas une démarche aisée et implique de considérer et de concilier un nombre souvent important d'objectifs parfois conflictuels. Ainsi, il faut pouvoir associer de la manière la plus satisfaisante possible :

- Des objectifs et des préoccupations appartenant aux trois dimensions du développement durable (préoccupations sociales, économiques et environnementales).
- Des échelles temporelles variées faisant référence à des objectifs à court terme (par exemple la rentabilité), à moyen terme (par exemple les risques pour la santé) et à long terme (par exemple le réchauffement climatique).
- Des niveaux d'organisation socio-économiques différents (Boiffin *et al.*, 2004 ; Vilain *et al.*, 2008 ; Terrier *et al.*, 2010). A cet égard, on peut distinguer la « durabilité restreinte » qualifiant la capacité des systèmes de production à être durables par et pour eux-mêmes (grâce à des pratiques qui assurent leur reproduction) de la « durabilité étendue » caractérisant la contribution de ces systèmes à la durabilité des territoires dans lesquels ils s'insèrent (enjeux de durabilité associés aux filières et à la société dans son ensemble).

L'évaluation de la contribution des systèmes de production au développement durable, de par sa complexité, implique donc de mettre en place des méthodes d'évaluation spécifiques.

2- Principes et présentation de MASC

2-1 Le besoin d'une méthode d'évaluation *ex ante* de la contribution des systèmes de culture au développement durable

Les systèmes de culture s'inscrivent dans des contextes socio-économiques et écologiques qui ont eux-mêmes leurs propres dynamiques. Divers collectifs de travail, regroupant des agents de métiers et statuts variés (agriculteurs, conseillers agricoles, décideurs publics...), cherchent à élaborer et à évaluer des systèmes de culture plus performants, 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 (Bockstaller *et al.*, 2008). 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 (analyse de cycle de vie) soit sur l'exploitation agricole et son assolement, ou encore sur une culture réalisée dans une parcelle (Bockstaller *et al.*, 2008).

Ainsi, 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 sur une parcelle au cours d'une succession culturale reste encore peu traitée. Pourtant cette échelle d'évaluation présente plusieurs caractéristiques justifiant la mise au point d'une méthode spécifique pour évaluer les performances des systèmes de production agricole au regard du développement durable. En effet, l'échelle du système de culture offre une résolution spatiale suffisamment fine pour estimer les impacts des interventions culturales effectuées aux champs. D'un point de vue temporel, cette échelle permet de considérer l'effet stratégique majeur de la succession culturale sur les performances en particulier environnementales et agronomiques. Enfin, l'échelle du système de culture est de fait une échelle décisionnelle à part entière pour l'agriculteur.

Par ailleurs les méthodes d'évaluation existantes ont été conçues, pour la grande majorité d'entre elles, pour réaliser un diagnostic des pratiques déjà existantes (évaluation *a posteriori* ou *ex post*) et peu sur des systèmes imaginés (évaluation *a priori* ou *ex ante*). Ce deuxième type d'évaluation est pourtant très utile et offre la possibilité de sélectionner rapidement des systèmes alternatifs prometteurs sans avoir besoin de tester au champ toutes les alternatives possibles : l'évaluation *a priori* permet d'éliminer des systèmes apparaissant comme peu satisfaisants, et de ne garder pour une évaluation plus approfondie que les plus performants. Cela peut permettre un gain de temps précieux lorsque l'on considère l'évolution rapide et imprévisible des enjeux qui modifient et remettent en question en permanence les déterminants de la durabilité des systèmes agricoles (crises alimentaires, changements de la réglementation, développement des biocarburants, considérations environnementales, fluctuations des cours du marché...) (Meynard, 2008 ; Sadok et al., 2008).

Le besoin d'un outil rendant possible une évaluation *a priori* de la durabilité des systèmes de culture et utilisable dans le cadre d'une démarche de travail collaboratif se fait donc vivement ressentir. Le modèle d'évaluation MASC a été élaboré pour répondre à cet objectif.

2-2 Cadre d'évaluation de la méthode MASC

2-2-1 Domaine de validité

La méthode MASC a été conçue en répondant à un cahier des charges visant à intégrer cinq grandes caractéristiques et propriétés qui participent à déterminer le domaine de validité de la méthode :

- 1) **Évaluation à l'échelle du système de culture** : MASC a été conçu pour effectuer des évaluations à l'échelle du système de culture selon la définition donnée par Sebillotte (1990), c'est-à-dire comme une séquence pluriannuelle de cultures caractérisée par les espèces choisies et les techniques culturales mises en œuvre sur une parcelle ou groupe de parcelles traitées de manière homogène. Cette échelle de travail a des conséquences très importantes sur les informations mobilisables, sur le mode de construction des [indicateurs](#) et sur la portée des résultats.
- 2) **Évaluation intégrée de la durabilité** : l'évaluation avec la méthode MASC repose sur une série de critères destinés à évaluer les performances des systèmes de culture sur les trois dimensions du développement durable (sociale, économique, environnementale).
- 3) **Évaluation adaptée à la grande culture assolée en climat tempéré** : le choix des critères d'évaluation et de leur mode de renseignement a été effectué en tenant compte de ce contexte socio-économique et pédoclimatique. Un changement de contexte pourrait faire émerger ou renforcer certaines préoccupations vis-à-vis de la durabilité des systèmes de cultures, et rendre inadaptés les critères d'évaluation proposés dans la présente version de MASC.
- 4) **Évaluation *a priori* et *a posteriori*** : MASC a été développé pour évaluer des systèmes de culture nouveaux (imaginés, ou fictifs), ou des systèmes déjà pratiqués au champ. La mise au point d'une méthode d'évaluation *a priori* est plus difficile en raison des connaissances limitées des pratiques qui seront réellement appliquées par les agriculteurs ainsi que des contextes de réalisation des systèmes. Les indicateurs de MASC ont par conséquent été calibrés pour des évaluations *a priori* (situation la plus contraignante) pour s'assurer de la possibilité de l'utiliser à la fois pour des évaluations *a priori* et *a posteriori*.

- 5) **Evaluation générique et non normative** : Ceci se traduit par une capacité d'accueil des préférences des utilisateurs dans le paramétrage du modèle, ainsi que des contingences territoriales (types de sol, climat, vulnérabilité des milieux...). Si on considère que le concept de développement durable est en partie subjectif et propre aux valeurs de chacun, il s'avère que le succès d'un projet orienté vers cet objectif est fortement conditionné, notamment au niveau local, par une réelle implication des acteurs socio-économiques dans les processus de décision (Froger & Oberti, 2002 ; Kestemon, 2004). La participation des acteurs locaux dans le paramétrage du modèle MASC est possible et est par conséquent conseillée pour construire une décision qui soit la plus acceptable et légitime possible. Dans l'usage, cela se traduit par une relative flexibilité du paramétrage offrant une importante liberté aux utilisateurs (choix du mode d'évaluation des critères, des pondérations entre critères et des valeurs-seuils ; cf. §3-4).

2-2-2 Publics et situations décisionnelles visés

MASC peut aider les utilisateurs à évaluer des systèmes de culture variés en identifiant leurs points faibles et leurs points forts à partir d'une grille d'évaluation conforme aux exigences du développement durable. A cet égard, cet outil peut aussi être considéré comme un outil d'aide à la réflexion et un support de discussion entre chercheurs, acteurs des filières de production et pouvoirs publics. Sans prétendre à l'exhaustivité, voici quelques exemples d'utilisation pour lesquels MASC a déjà été mis en œuvre :

- Aide à la réflexion d'agriculteurs sur les orientations possibles de leurs exploitations *via* un diagnostic global des systèmes de culture pratiqués.
- Aide à la conception et à la sélection de systèmes de culture innovants avant leur mise en expérimentation en parcelle expérimentale.
- 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 appliqués aux systèmes de culture pour des agriculteurs, conseillers agricoles, étudiants...
- Communication synthétique sur les résultats des systèmes de culture innovants étudiés pour des publics variés.
- Communication auprès d'agriculteurs et porteurs d'enjeux variés pour identifier les atouts et freins à l'adoption de certains systèmes de culture.

La liste des premiers utilisateurs et des projets d'évaluation réalisés lors de la phase de mise à l'épreuve de la version 1.0 sont présentés en [Annexe I](#).

2-3 Choix de l'outil DEXi comme support du modèle d'évaluation MASC

MASC a été développé à partir d'un logiciel d'[analyse multicritère](#) pour l'aide à la décision, DEXi (Bohanec, 2011), qui décompose tout problème décisionnel complexe en sous problèmes plus faciles à résoudre. Il relève de la catégorie des méthodes du type MCDA (*Multi Criteria Decision Aid*). Ce logiciel possède plusieurs propriétés et fonctionnalités très utiles au regard de l'évaluation de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Les plus importantes sont les suivantes :

- Il permet de décomposer de manière structurée la contribution des systèmes de culture au développement durable sous la forme d'un arbre décisionnel.
- Il permet d'agréger l'information de critères ayant des unités différentes en utilisant des variables qualitatives (par exemple : faible ; moyen ; élevé).
- Il peut intégrer dans son paramétrage les préférences des acteurs en affectant un poids à chaque critère d'évaluation retenu.
- Il propose une diversité de sorties graphiques personnalisables autour de certains thèmes, favorisant la réflexion et la discussion entre des porteurs d'enjeux divers

La justification détaillée de son adéquation à l'évaluation des systèmes de culture a fait l'objet de publications scientifiques (Sadok et al., 2008 ; Sadok et al., 2009) et son intérêt comme outil permettant une évaluation intégrée des systèmes de culture a été mis en évidence dans le cadre de plusieurs projets européens (Bohanec et al., 2003, 2004, 2006, 2008) et d'un projet au niveau national (Reau et al., 2006).

L'outil logiciel DEXi peut être téléchargé librement et gratuitement sur le site⁶ :

<http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>

- Un manuel d'utilisation en anglais de cette version est disponible à l'adresse suivante :
<http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/DEXi/html/DEXiDoc.htm>
- Une présentation simplifiée du logiciel DEXi est présentée en français dans ce document [Annexe II](#).

La terminologie qui est utilisée dans la suite de ce document d'accompagnement et qui fait référence à l'utilisation de DEXi est définie dans le manuel d'utilisation et à la fin du document d'accompagnement de MASC 2.0 (§[Glossaire](#)). Il est possible de se familiariser avec ces différentes notions en manipulant directement sur la version livrée de MASC 2.0 les deux systèmes de culture implémentés par défaut, qui servent ainsi d'exemples pour l'apprentissage.

2-4 Présentation de l'arborescence MASC

Les critères permettant d'évaluer la contribution des systèmes de culture au développement durable sont intégrés et organisés sous la forme d'une arborescence dans le logiciel DEXi. La représentation de cette arborescence est exposée dans la [Figure 1](#) et se caractérise par :

- **39 critères basiques** (ou « feuilles de l'arbre »). Ces critères situés à l'extrémité des « branches de l'arbre » (alignés à gauche sur la [Figure 1](#)) correspondent aux variables d'entrée du modèle. Ils sont renseignés grâce à des indicateurs (souvent appelés indicateurs "de résultat") qui permettent une évaluation des effets des systèmes de culture sur les valeurs prises par les critères renseignés. Le mode de calcul de ces indicateurs est présenté dans le document du package MASC intitulé « 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 ».
- **26 critères agrégés** (ou « nœuds internes » de l'arbre). Ces critères permettent d'agréger « pas à pas » les informations comprises dans les critères de niveaux inférieurs jusqu'au critère racine intitulé « **Contribution au développement durable** », le résultat final et synthétique de l'évaluation des systèmes de culture. Les agrégations sont réalisées grâce à des fonctions d'utilité qui regroupent sous forme de tableaux les [règles de décision](#) qualitatives permettant de spécifier les valeurs prises par chacun des critères agrégés, en fonction de celles des critères qu'ils agrègent. Les principes de ces fonctions d'utilité sont présentés en détail ultérieurement dans ce document (cf. §[3-4-2](#)).



Tous les indicateurs permettant de renseigner les critères basiques de MASC sont proposés par défaut et leur utilisation n'est pas normative. Les utilisateurs pourront eux-mêmes utiliser des modèles d'évaluation plus pertinents dans leur contexte local, sous réserve que les modes de calcul retenus permettent bien de viser les mêmes finalités. Néanmoins, toutes les modifications réalisées par rapport aux indicateurs proposés par défaut dans MASC 2.0 devront être indiquées de manière explicite dans le rapport d'évaluation (cf. [3-5-1](#)) et lors de la présentation des résultats. En revanche, il n'est pas possible de retrancher ou d'ajouter des critères d'évaluation dans l'arborescence de MASC 2.0.

⁶ Il convient de choisir la version 3.03 en anglais DEXi3.03en_setup.exe. Avant son installation, il est préférable de désinstaller la version antérieure si elle est déjà présente sur l'ordinateur afin d'éviter des problèmes de compatibilité entre fichiers établis sous des versions différentes.

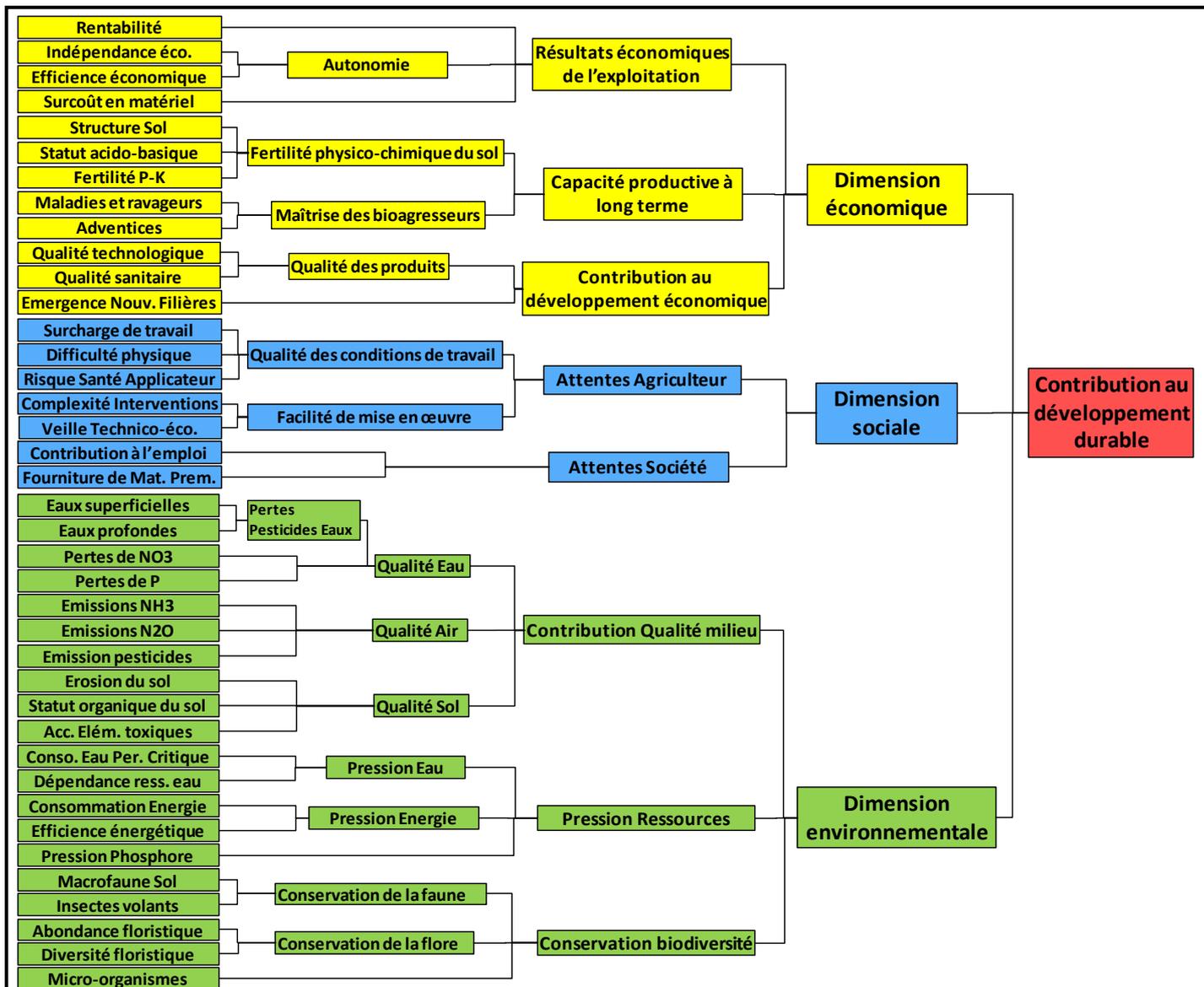


Figure 1 : Présentation synoptique de l'arborescence de MASC 2.0

L'arborescence du modèle MASC 2.0 (composée de ses 39 critères basiques et 26 critères agrégés) est fournie dans le package MASC 2.0 en ouvrant le fichier .dxi intitulé « arborescence MASC 2.0.dxi ».

Les critères basiques de MASC peuvent être renseignés grâce à trois types d'indicateurs :

- Les indicateurs calculés. Ces indicateurs permettent de renseigner dix-neuf critères basiques de MASC (par exemple : Rentabilité, indicateurs de la méthode INDIGO...).
- 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 », « Surcharge de travail »). 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.
- Les indicateurs composites grâce à des arbres satellites implémentés sur DEXi (par exemple : « Maîtrise des bioagresseurs », « Maîtrise de la structure du sol »...) Ces indicateurs permettent de renseigner treize critères basiques de MASC. Ces arbres satellites sont mis à disposition pour évaluer des domaines de préoccupation relativement complexes, ne pouvant pas être évalués par un mode de calcul simple, et rarement directement par expertise.

L'utilisation des arbres satellites étant facultative, ces derniers ont été implémentés dans deux fichiers .dxi spécifiques :

- un fichier intitulé « arbres satellites.dxi » dans lequel tous les arbres satellites sont implémentés un à un.
- un fichier intitulé « arbre MASC + arbres satellites.dxi » dans lequel tous les arbres satellites proposés sont connectés à l'arbre de MASC 2.0 *via* les critères basiques concernés.

2-5 Sélection et structuration des critères d'évaluation

La sélection des critères et leur structuration dans cette arborescence offrent une grille de lecture et d'analyse de la contribution des systèmes de culture au développement durable. Elle découle de discussions et de choix réalisés par les concepteurs de la méthode, eux-mêmes s'appuyant sur les retours des premiers utilisateurs de MASC. Les principaux choix et les orientations structurantes adoptées par le groupe des concepteurs dans la version 2.0 sont présentés ci-après :

- 1) Le concept de contribution des systèmes de culture au développement durable est décomposé dans la méthode MASC selon les trois dimensions classiques du développement durable (dimensions sociale, économique et environnementale).
- 2) La méthode intègre des critères permettant d'évaluer à la fois la durabilité restreinte (qualifiant l'aptitude du système à s'auto-reproduire dans la durée par et pour lui-même) et la durabilité étendue (permettant d'estimer la contribution des systèmes de culture à satisfaire les préoccupations de la société et des filières). La volonté de ne pas réduire l'évaluation à la durabilité restreinte des systèmes s'exprime aussi à travers l'intitulé du critère d'évaluation finale : **Contribution du système de culture au développement durable**.
- 3) Des « critères agronomiques » ont été insérés dans la dimension économique du développement durable afin d'estimer l'évolution de la capacité productive à long terme des parcelles exploitées. L'introduction de critères agronomiques, distincts des critères environnementaux 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) . Dans MASC 2.0, la sous-branche de critères agronomiques a été introduite dans le volet économique. En effet, en participant notamment à l'approvisionnement d'un territoire en matières premières d'origine agricole, la préservation du potentiel de production des parcelles peut être considérée comme un enjeu économique majeur intéressant à la fois les agriculteurs, les filières et la société dans son ensemble.
- 4) D'autres critères d'évaluation permettant de qualifier l'«Adoptabilité» des systèmes de culture par l'agriculteur ou la filière ont été initialement envisagés (par exemple : Compatibilité des cultures avec les débouchés existants ; Accès à un conseil pertinent...). Ces critères uniquement destinés à évaluer l'adoptabilité des systèmes de culture n'ont pas été retenus en considérant que cette préoccupation s'écarte significativement de l'objectif poursuivi par MASC. En effet, certains systèmes peuvent être compatibles avec les exigences du développement durable sans pour autant être adoptables et inversement. Par ailleurs, ces indicateurs sont généralement très dépendants du contexte extra-parcellaire, évolutifs et risquent de déprécier des systèmes potentiellement intéressants pour le développement durable. La question de l'adoptabilité des systèmes de culture doit par conséquent plutôt être traitée dans une seconde phase, après l'évaluation de leur contribution au développement durable avec MASC.

2-6 Limites de l'évaluation avec MASC

2-6-1 Cas des évaluations à des échelles supra-parcellaires et prise en compte des niveaux d'organisation englobants

De par l'échelle d'évaluation considérée avec MASC, les données mobilisables pour calculer les indicateurs sont essentiellement limitées aux informations disponibles à l'échelle parcellaire. Cette spécificité de l'outil ne permet pas de prendre en compte les processus extra-parcellaires et amène à limiter de fait le domaine de validité de l'évaluation. A ce titre, il est donc fortement déconseillé de combiner des résultats d'évaluation obtenus sur plusieurs systèmes de culture pour estimer leurs impacts sur un territoire (par exemple : évaluation de l'impact des activités agricoles sur la qualité de l'eau à l'exutoire d'un bassin versant, ou sur la biodiversité dans un périmètre Natura 2000). MASC pourra néanmoins être utilisé dans ces périmètres à l'échelle de parcelles ou groupes de parcelles mais ne permettra d'évaluer « que » leur contribution propre au développement durable et aux enjeux associés aux périmètres concernés.

Dans MASC 2.0, plusieurs critères ont été insérés pour estimer la contribution des systèmes de culture à répondre aux préoccupations provenant des niveaux d'organisation englobants faisant référence soit à l'exploitation agricole, à la filière ou à la société dans son ensemble (par exemple : les critères Fourniture de matières premières, Contribution à l'emploi, Surcharge de travail...). A l'échelle de la parcelle, l'estimation de la contribution des systèmes de culture à répondre à ces enjeux nécessite souvent de faire des hypothèses plus ou moins fortes sur le contexte socio-économique environnant. Cette approximation implique par conséquent d'interpréter le résultat de ces critères avec une prudence relative.

2-6-2 Comparaison des résultats provenant de différents projets d'évaluation

Les résultats produits par MASC dépendent fortement d'une part du contexte socio-économique et pédo-climatique des systèmes de culture évalués et d'autre part de l'expression des préférences des acteurs dans le paramétrage. Par conséquent, il paraît inapproprié de comparer avec MASC les performances de systèmes de culture implantés dans des contextes ou des projets d'évaluation différents.

2-6-3 Variabilité des données d'entrée et prise en compte des incertitudes

Dans MASC, les indicateurs proposés sont calculés à partir de données moyennées pour décrire de manière synthétique et représentative les interventions planifiées (ou réalisées) dans les systèmes évalués. Le recours à des valeurs moyennes pour calculer les indicateurs présente l'inconvénient de ne pas considérer avec précision l'effet de la variabilité des données d'entrée sur la durabilité du système (variabilité induite par une ou des conjonctures climatiques ou socio-économiques particulières, par exemple). Cette caractéristique peut aussi contribuer à expliquer, dans certains cas, la présence d'écarts plus ou moins importants entre les résultats obtenus par les indicateurs et des observations effectuées une année donnée.

2-7 Validation des indicateurs et de la méthode

La validation des indicateurs relatifs au développement durable ne peut être effectuée par comparaison entre les résultats obtenus et des données mesurées, parce qu'il est généralement extrêmement difficile de comparer les sorties des indicateurs avec des mesures effectuées au champ (Reus *et al.*, 2002 ; Bockstaller & Girardin, 2003 ; Vilain *et al.*, 2008). Par conséquent, tous les indicateurs proposés ont été construits et validés en s'appuyant (i) sur la littérature scientifique disponible, (ii) sur les avis d'au moins un expert du domaine concerné, (iii) en mobilisant ensuite l'ensemble des agronomes généralistes composant le groupe des concepteurs de la méthode MASC.

Néanmoins, pour une partie des indicateurs, la validation scientifique a pu être réalisée *via* la critique scientifique publiée dans des revues ou des ouvrages soumis à comité de lecture. Cette démarche concerne principalement les indicateurs issus de la méthode INDIGO intégrés dans MASC pour évaluer certains critères de la dimension environnementale du développement durable (Bockstaller *et al.*, 1997 ; Van Der Werf *et al.*, 1998 ; Pervanchon *et al.*, 2002 ; Pervanchon *et al.*, 2005 ; Bockstaller

et al., 2008a ; Bockstaller et al., 2008b). De manière plus générale, la méthode d'évaluation dans son ensemble a pu être éprouvée lors de son application en situations réelles (cf. [Annexe I](#)). Les premiers utilisateurs de la version 1.0 de MASC ont été enquêtés pour recueillir leurs avis critiques sur l'aptitude du modèle à fournir des résultats cohérents avec la réalité et sur l'apport de la méthode dans leur prise de décision. Cette phase d'enquêtes, reposant sur huit projets d'évaluation et sur près de 80 systèmes de culture (conduits dans des contextes pédoclimatiques et socio-économiques très différents) a mis en exergue l'utilité de cet outil et a permis de l'améliorer significativement dans son ensemble.

3 Présentation et recommandations sur la démarche d'évaluation avec MASC

3-1 Démarche générale d'évaluation

La démarche d'évaluation des systèmes de culture avec MASC s'organise généralement en plusieurs étapes ([Figure 2](#)).

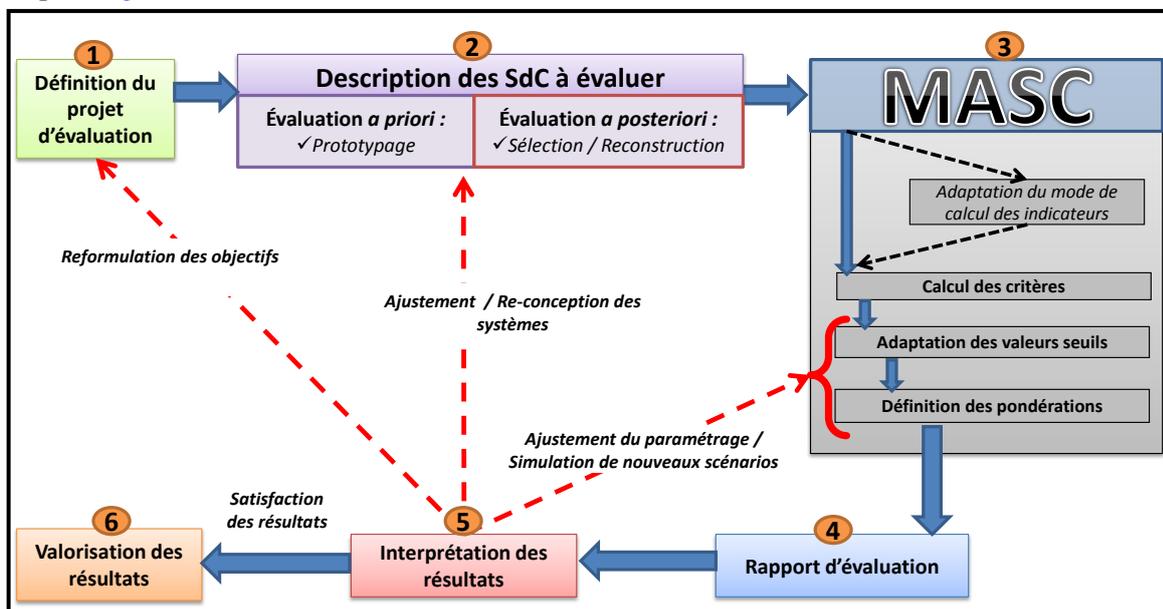


Figure 2 : Positionnement de MASC dans une démarche globale d'évaluation des systèmes de culture

La conduite des diverses étapes ne s'effectue pas toujours de manière séquentielle, mais avec des développements qui se recouvrent en partie et des anticipations qui permettent des ajustements réciproques (cf. flèches rouges dans la [Figure 2](#)). Plusieurs recommandations sont présentées ci-après pour chacune des étapes de la démarche générale d'évaluation avec MASC.

3-2 Définition des objectifs de l'évaluation

Cette première étape est déterminante et permet d'orienter l'évaluation des systèmes de culture en fonction des objectifs recherchés dans le contexte d'étude. Cette étape implique de :

- préciser la finalité de l'évaluation (pour quoi et pour qui ?),
- définir les objectifs opérationnels (on évalue quoi ?) et leurs priorités (arbitrages entre objectifs),
- préciser qui réalise l'évaluation et quelles sont les contraintes de l'évaluation (budget, temps, données disponibles... comment ?).

Dans la plupart des projets d'évaluation, il est recommandé de constituer un collectif de travail composé à la fois d'experts locaux et de porteurs d'enjeux pour faciliter, d'une part, l'adaptation de MASC au contexte pédo-climatique et socio-économique local et, d'autre part, pour légitimer le paramétrage et de là, l'adhésion aux résultats obtenus.

Les experts peuvent être sollicités pour apporter des propositions et une appréciation technique et scientifique lors de l'étape de détermination des systèmes à évaluer (étape 2), lors du paramétrage de l'outil (étape 3) et lors de l'interprétation et de la validation des résultats (étape 5). Ces experts peuvent provenir de différents organismes tels que des chambres consulaires, des instituts techniques, de la recherche...

Les porteurs d'enjeux regroupent tous les acteurs du territoire ayant un intérêt quelconque vis-à-vis des systèmes de production agricole (agriculteurs, élus locaux, représentants de coopératives agricoles, services de l'état, associations de protection de l'environnement...). L'intervention des porteurs d'enjeux est plus particulièrement souhaitable lors de la définition des objectifs de l'évaluation (étape 1) et lors de la définition des pondérations et des valeurs-seuils (étape 3).

3-3 Description des systèmes de culture à évaluer

La deuxième étape de travail consiste ensuite à choisir le nombre et la diversité des systèmes de culture à mettre en évaluation et à les décrire. Lors de cette étape, il est fortement recommandé d'inclure dans l'évaluation au moins un système de culture de référence représentatif de l'existant dans un territoire donné (systèmes de culture témoins). Cette démarche facilite l'interprétation des résultats en permettant de comparer les points forts et les points faibles des systèmes de culture innovants évalués par rapport à des systèmes de culture couramment implantés sur un territoire. De fait, lorsque les résultats sont utilisés pour concevoir des systèmes de culture innovants, la présence de systèmes témoins peut faciliter et orienter la conception de nouveaux systèmes de culture.

Vis-à-vis de la description des systèmes de culture, il convient de distinguer deux situations :

- l'évaluation *a posteriori* (sur des systèmes déjà implantés).
- l'évaluation *a priori* (sur des systèmes de culture fictifs)

Pour l'évaluation *a posteriori*, les systèmes doivent être décrits tels qu'ils sont le plus généralement conduits dans le contexte d'étude en évitant de considérer l'influence des facteurs conjoncturels sur les pratiques réalisées (accidents climatiques, hausse ou baisse brutale du prix des intrants...). La description du système implique donc de caractériser les pratiques réalisées le plus couramment dans son aire de mise en œuvre, sur plusieurs années. Lorsque les références techniques et économiques ne sont pas disponibles, il est alors nécessaire 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 disponibles) et le système décisionnel de l'agriculteur (obtenu par des entretiens et/ou des enquêtes). Il existe divers exemples d'une telle typologie de systèmes de culture réalisée en vue de leur évaluation multicritère (ITAB, 2011).

Pour l'évaluation *a priori* des systèmes de culture, la principale difficulté réside dans le processus même de conception et de description des systèmes de culture définis *de novo*. Ceci implique généralement de faire face à un manque de données quantitatives pour décrire les systèmes de culture. Ainsi, même si les indicateurs de MASC ont été construits pour pouvoir être estimés avec peu de valeurs chiffrées en entrée, les utilisateurs devront parfois formuler quelques hypothèses sur les éléments de contexte (texture du sol, état de fertilité initial de la parcelle, matériel agricole disponible...) et sur les performances attendues des systèmes de culture (rendement, qualité, prix de vente...). Pour augmenter la pertinence des résultats dans le cadre d'une évaluation *a priori*, il est donc vivement recommandé de solliciter divers experts ayant une bonne maîtrise technique des systèmes agricoles dans le contexte d'évaluation. Ce manque d'information éventuel peut aussi être compensé en mobilisant les références disponibles sur des cultures et des techniques déjà réalisées dans le contexte local d'utilisation et/ou des informations issues de modèles agronomiques. Comme évoqué ci-dessus, dans une évaluation *a priori*, la mobilisation d'experts locaux peut aussi s'avérer très utile pour décrire un ou plusieurs systèmes de culture témoins représentatifs des systèmes couramment rencontrés dans le contexte d'évaluation afin de comparer les performances des systèmes de culture définis *de novo*.

La démarche de conception et de description *a priori* des systèmes de culture peut être facilitée en se référant à la littérature disponible sur le sujet (Lançon *et al.*, 2008 ; Mischler *et al.*, 2008 ; Attoumani-Ronceux A. *et al.*, 2011).

3-4 Adaptation et paramétrage du modèle d'évaluation

3-4-1 Principe et adaptation des valeurs-seuils

Des valeurs-seuils permettent dans MASC de discrétiser les valeurs quantitatives calculées en valeurs qualitatives (par exemple faible, moyen, élevé) afin de renseigner le logiciel DEXi. Le choix de ces valeurs-seuils permet aussi de discriminer, pour chaque indicateur, les systèmes évalués. Des valeurs-seuils sont proposées dans MASC 2.0 pour la plupart des indicateurs mais celles-ci peuvent être adaptées localement pour plusieurs raisons :

- Pour mieux prendre en compte les spécificités du contexte pédo-climatique et socio-économique local.
- Pour intégrer l'expression des préférences des utilisateurs vis-à-vis du jugement porté sur les valeurs quantitatives obtenues.
- Pour améliorer l'aptitude des indicateurs à discriminer les systèmes de culture à évaluer, cela en fonction de leur diversité.

Dans MASC, on distingue pour chaque indicateur quantitatif trois types de valeurs-seuils :

- Les valeurs-seuils fixées. Ces valeurs-seuils ne concernent qu'une minorité d'indicateurs dont les résultats sont jugés indépendants du contexte.
- Les valeurs-seuils préconisées. Ces valeurs-seuils ont été définies au sein du groupe de conception de MASC à partir des performances observées sur des systèmes de culture diversifiés et/ou à dire d'experts.
- Les valeurs-seuils proposées à titre d'exemple. Ces valeurs-seuils sont proposées lorsqu'il n'existe pas de références techniques et scientifiques suffisantes au niveau national ou/et lorsque le jugement à affecter aux valeurs prises nécessite d'intégrer les préférences des acteurs locaux mobilisés dans l'évaluation (par exemple critères **Rentabilité**, **Autonomie économique**).

A l'exception de celles qui sont fixées, toutes les valeurs-seuils doivent être débattues et peuvent être adaptées et précisées localement en mobilisant les références disponibles et les avis des acteurs sollicités. L'adaptation des valeurs-seuils pourra aussi être effectuée en considérant la gamme de valeurs prises par les systèmes évalués pour augmenter le caractère discriminant des indicateurs.



Le choix des valeurs-seuils permet d'affecter un jugement qualitatif aux systèmes de culture. Il conditionne les valeurs prises par les critères basiques et donc le résultat de l'évaluation avec MASC dans son ensemble. Par conséquent, toutes les valeurs-seuils retenues devront être clairement exposées lors de la restitution des résultats et dans le rapport d'évaluation (cf. §3-5-1).

3-4-2 Principe et adaptation des pondérations

✓ Principe des agrégations dans MASC

L'agrégation des différents critères est réalisée grâce à un ensemble de fonctions d'utilité. Ces fonctions définissent la relation entre la valeur d'un critère, dit agrégé, et les valeurs des critères sous-jacents qui le constituent. Dans DEXi, les fonctions d'utilité se matérialisent sous la forme d'un tableau renseigné à dire d'experts par le biais d'un raisonnement qualitatif du type « si...alors ». Un exemple de FU est présenté dans la Figure 3. Dans cet exemple, la fonction d'utilité du critère **Pression énergie** de niveau n agrège les critères de niveau $n-1$: **Consommation en énergie** et **Efficacité énergétique**. Cette table d'agrégation est renseignée ligne par ligne pour chaque combinaison de valeurs que peuvent prendre les critères de niveaux inférieurs (cf. colonne de gauche) en affectant une valeur qualitative au critère agrégé **Pression Energie** (cf. colonne de droite).

Ainsi la première ligne de ce tableau est renseignée avec la règle de décision suivante :

- ➔ **SI** la **Consommation en énergie** est « élevée » et **SI** l'**Effizienz Energétique** est « faible » **ALORS** la **Pression sur l'énergie** est « très élevée ».

The screenshot shows a window titled "Decision rules Pression Energie". It contains a table with 9 rows and 3 columns: "Consommation en energie", "Effizienz energetique", and "Pression Energie". The table lists combinations of "elevee", "moyenne", and "faible" for the first two columns, resulting in aggregated values for the third column. Annotations with arrows point to the table and explain that there are 9 combinations (3^2) and that the two criteria are specified in three classes. A separate box notes that these nine rules are used to define the utility function for the aggregated criterion.

	Consommation en energie	Effizienz energetique	Pression Energie
1	elevee	faible	tres elevee
2	elevee	moyen	tres elevee
3	elevee	elevé	moyenne a elevee
4	moyenne	faible	tres elevee
5	moyenne	moyen	moyenne a elevee
6	moyenne	elevé	faible a moyenne
7	faible	faible	moyenne a elevee
8	faible	moyen	faible a moyenne
9	faible	elevé	tres faible

Figure 3 : Exemple d'une fonction d'utilité représentée dans un tableau sous forme sérielle dans le logiciel DEXi

La spécification de toutes les règles élémentaires relatives à une FU revient à établir une pondération de l'importance des critères d'entrée pour la qualification du critère agrégé. Le logiciel DEXi est en effet capable d'estimer les poids attribués par l'intermédiaire des règles de décision établies. Dans cet exemple, le logiciel DEXi indique que les deux critères **Consommation en énergie** et **Effizienz énergétique** ont un poids équivalent de 50%.

Dans la version livrée de MASC 2.0, toutes les fonctions d'utilité ont été renseignées par défaut selon la vision du groupe des concepteurs de MASC et en veillant à optimiser la capacité de l'outil à discriminer les systèmes de culture évalués. Les poids affectés à chacun des critères de l'arborescence sont présentés en [Annexe III](#).

✓ *Adaptation des pondérations*

Ces fonctions d'utilité prédéfinies par les concepteurs de la méthode peuvent être utilisées directement en l'état. Cependant, il est recommandé de les adapter pour mieux intégrer les spécificités locales d'ordre pédo-climatique et socio-économique dans le paramétrage.

Le logiciel DEXi permet de renseigner et modifier les fonctions d'utilité *via* deux procédés complémentaires :

- Par la méthode manuelle en renseignant une par une toutes les lignes des tableaux associés à chaque fonction d'utilité.
- Par la méthode automatique en entrant directement dans le logiciel les valeurs numériques des poids des critères que les utilisateurs souhaitent retenir.

Ces deux méthodes sont présentées dans le tutoriel DEXi proposé [Annexe II](#) et dans le manuel d'utilisation du logiciel DEXi⁷.

⁷ Un manuel d'utilisation du logiciel DEXi est disponible en anglais à l'adresse suivante : <http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/DEXi/html/DEXiDoc.htm>

Il est recommandé de renseigner manuellement les FU lorsque les fonctions d'utilité sont relativement simples (≤ 64 règles de décision) et d'employer la procédure automatique couplée à une vérification manuelle lorsque les fonctions d'utilité sont plus complexes (analyse ligne par ligne des règles de décision dans les tableaux associés aux fonctions d'utilité). Dans ce cas, l'utilisation de la fonction automatique de définition des FU permet un pré-renseignement rapide des tableaux à partir d'un poids défini par l'utilisateur (ou un collectif d'utilisateurs) et la vérification manuelle permet d'ajuster les règles de décision définies par le logiciel DEXi, si elles ne s'avèrent pas complètement satisfaisantes.



Le logiciel DEXi offre la possibilité de renseigner les fonctions d'utilité à partir des poids relatifs (exprimés en %) que les utilisateurs souhaitent accorder aux critères à agréger. Cependant, cette fonctionnalité ne donne qu'une représentation approximative des tables d'agrégation car pour une même pondération il existe plusieurs manières de renseigner ces tables et donc de discriminer les systèmes de culture évalués. Il est par conséquent indispensable de vérifier manuellement les tables d'agrégation après avoir défini les poids dans le logiciel (cf. [Annexe II B.3](#))

Lors de cette étape de vérification, il faut veiller :

- à intégrer au mieux les préférences des acteurs sollicités à travers le choix des règles de décision ;
- à optimiser l'aptitude des critères à discriminer les systèmes de culture évalués. Pour y parvenir, l'utilisateur s'emploiera à exploiter au maximum la diversité des classes qualitatives de l'attribut agrégé.

Pour faciliter l'étape de renseignement des fonctions d'utilité, il est possible, en utilisant un tableur, de transposer les tableaux présentés sous forme sérielle dans DEXi ([Figure 3](#)) en tableaux de contingence (cf. exemple du [Tableau 1](#)). Dans cet exemple, les différentes combinaisons entre les classes qualitatives reçoivent une note calculée en effectuant la somme des indices associés à chaque classe qualitative des critères à agréger. Ces notes permettent ainsi d'ordonner les différentes combinaisons et facilitent l'affectation des classes qualitatives de l'indicateur agrégé.

Tableau 1 : Exemple de table de contingence développée dans un tableur pour faciliter le renseignement des fonctions d'utilité. Les classes qualitatives affectées au critère agrégé sont représentées par un code couleur : rouge = « Très faible » ; orange : « Faible à moyen » ; vert clair : « Moyen à élevé » ; vert foncé = « Très élevé »).

Critère à agréger n°1 (poids = 33%)	Critère à agréger n°2 (poids = 33%)	Critère à agréger n°3 (poids = 33%)			
		Très faible (1)	Faible à moyen (2)	Moyen à élevé (3)	Très élevé (4)
Très Faible (1)	Très faible (1)	3	4	5	6
	Faible à moyen (2)	4	5	6	7
	Moyen à élevé (3)	5	6	7	8
	Très élevé (4)	6	7	8	9
Faible à moyen (2)	Très faible (1)	4	5	6	7
	Faible à moyen (2)	5	6	7	8
	Moyen à élevé (3)	6	7	8	9
	Très élevé (4)	7	8	9	10
Moyen à élevé (3)	Très faible (1)	5	6	7	8
	Faible à moyen (2)	6	7	8	9
	Moyen à élevé (3)	7	8	9	10
	Très élevé (4)	8	9	10	11
Très élevé (4)	Très faible (1)	6	7	8	9
	Faible à moyen (2)	7	8	9	10
	Moyen à élevé (3)	8	9	10	11
	Très élevé (4)	9	10	11	12

✓ *Prescription vis-à-vis des pondérations*

L'outil DEXi offre à l'utilisateur une totale liberté d'intervention sur les fonctions d'utilité qui permettent l'établissement d'une pondération entre critères. Cependant, diverses limites sont fixées par les concepteurs de MASC afin d'éviter une dénaturaion du modèle d'évaluation. Ces prescriptions se traduisent pour certaines fonctions d'utilité par des valeurs minimales, pour éviter une sous-pondération des critères (Figure 4).

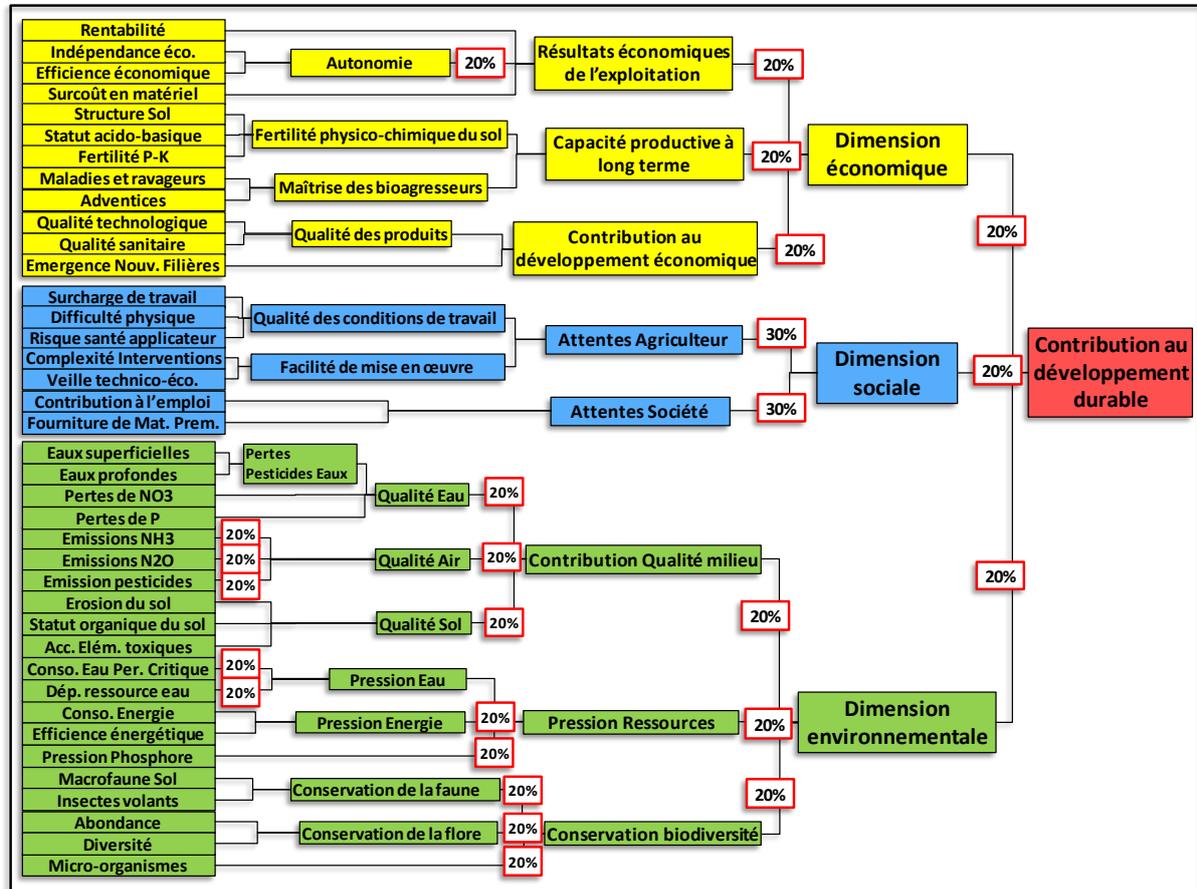


Figure 4 : Pondérations minimales à respecter pour éviter une dénaturaion du modèle d'évaluation.

Les utilisateurs seront libres d'accorder un poids très faible aux critères non affectés d'une pondération minimale. Cette liberté offre la possibilité aux utilisateurs d'affecter un poids de 0% à un critère lorsque celui-ci n'est pas jugé pertinent dans le contexte d'évaluation. Par exemple, le critère **Maîtrise de l'érosion des sols** de la dimension environnementale peut être affecté d'un poids de 0% si l'aléa érosif est négligeable dans le contexte pédoclimatique de l'évaluation. Dans cette situation, il est recommandé de renseigner la table de contingence concernée avec la méthode semi-automatique en définissant au préalable le poids des critères (cf. [Annexe II B.3](#)).



L'affectation d'une pondération de 0% à certains critères peut entraîner des changements dans les évaluations des systèmes de culture et donc dans leur classement. Par souci de transparence, toutes les pondérations devront être clairement exposées lors de la restitution des résultats et dans le rapport d'évaluation (cf. §3-5-1).

3-5 Interprétation et présentation des résultats

3-5-1 Réalisation d'un rapport d'évaluation

Une fois que les systèmes de culture ont été évalués, il est nécessaire de réaliser un rapport d'évaluation complet dans lequel tous les éléments constitutifs du projet sont explicitement présentés et justifiés. Un modèle d'évaluation tel que MASC intègre inévitablement une part de subjectivité dans son paramétrage pour considérer les préférences des acteurs sollicités. Ceci implique par conséquent une grande transparence vis-à-vis de l'ensemble des choix effectués dans le paramétrage pour interpréter correctement les évaluations, pour faciliter les échanges avec les acteurs mobilisés et pour diffuser les résultats.

Le rapport d'évaluation devra à ce titre contenir au minimum une description détaillée :



- 1) **du (ou des) objectif (s) de l'évaluation,**
- 2) **des systèmes de culture évalués,**
- 3) **du mode d'évaluation des critères qui ont été modifiés par rapport à la version de MASC 2.0 livrée par défaut,**
- 4) **des valeurs quantitatives obtenues pour les indicateurs calculés,**
- 5) **des valeurs qualitatives obtenues pour chaque critère d'évaluation de MASC,**
- 6) **des pondérations et des valeurs-seuils utilisées (traduisant des priorités en termes de développement durable),**
- 7) **des résultats d'évaluation obtenus.**

Les éléments 5, 6, 7 peuvent être générés automatiquement par le logiciel DEXi grâce à la fonctionnalité « Report » qui est présentée dans le tutoriel DEXi en [Annexe II](#).

3-5-2 Quelques exemples de sorties graphiques possibles

Cette étape de travail précédant la valorisation des résultats consiste à prendre connaissance des sorties du modèle et à analyser les résultats obtenus pour évaluer comment les systèmes de culture étudiés permettent de répondre globalement aux objectifs du projet d'évaluation. DEXi propose plusieurs sorties graphiques pour analyser les résultats obtenus :

- Des histogrammes, permettant de comparer les différents systèmes de culture vis-à-vis d'un critère ([Figure 5](#)).
- Des graphiques à deux dimensions permettant de comparer plusieurs systèmes de culture vis-à-vis de deux critères ([Figure 6](#)).
- Des radars représentant, pour un seul système de culture, les valeurs de trois à six critères ([Figure 7](#)).



MASC offre la possibilité d'agrèger « pas à pas » tous les critères d'évaluation jusqu'au critère synthétique de la Contribution au développement durable. Ce résultat permet de comparer et éventuellement de classer les systèmes de culture entre eux. Cependant, la comparaison des systèmes de culture et l'interprétation des résultats ne doit pas se réduire à ce seul critère d'évaluation. MASC peut être utilisé avec profit comme un « tableau de bord », en analysant les performances des systèmes de culture sur l'ensemble des critères (basiques ou agrégés) à différents niveaux de l'arbre.

Pour conduire cette analyse globale des performances des systèmes de culture, il peut s'avérer très utile de concevoir des graphiques synoptiques permettant d'avoir une vue d'ensemble sur la totalité des critères d'évaluation et pour suivre la diffusion de l'information dans l'arborescence (des critères basiques ou « feuilles » jusqu'au critère racine).

Néanmoins, cette fonctionnalité n'est actuellement pas présente dans DEXi et devra être réalisée manuellement (Figure 8) ou de manière semi-automatique (Figure 9) à partir des résultats obtenus par le logiciel DEXi.

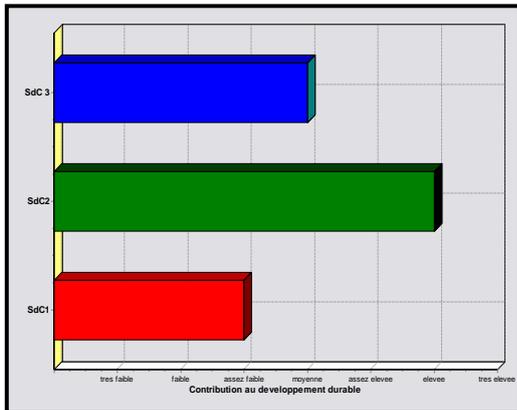


Figure 5 : Aperçu d'un histogramme pouvant être obtenu avec le logiciel DEXi

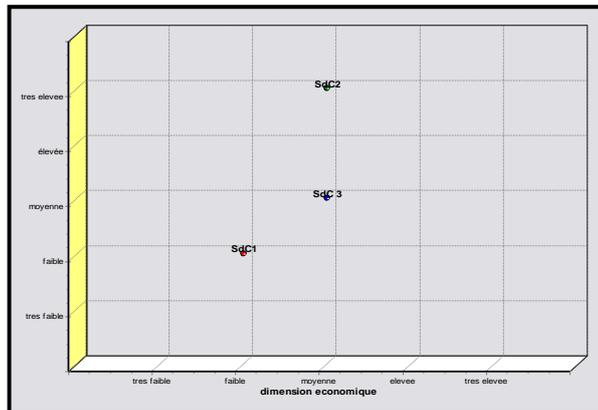


Figure 6 : Aperçu d'un diagramme pouvant être obtenu avec le logiciel DEXi

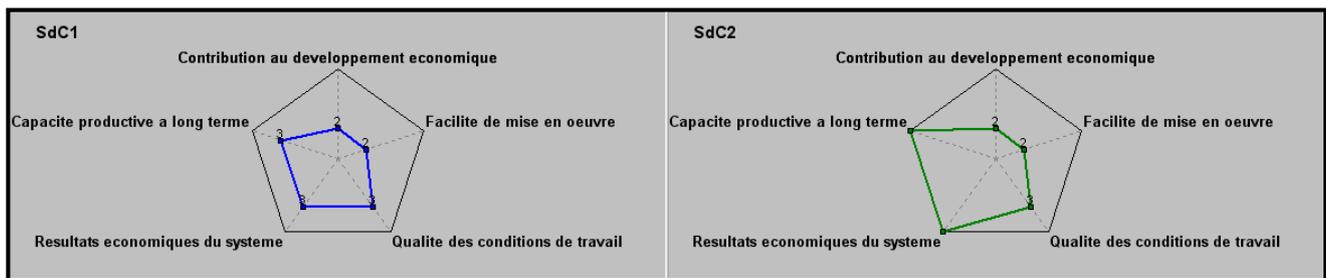


Figure 7 : Aperçu des radars pouvant être obtenus avec le logiciel DEXi

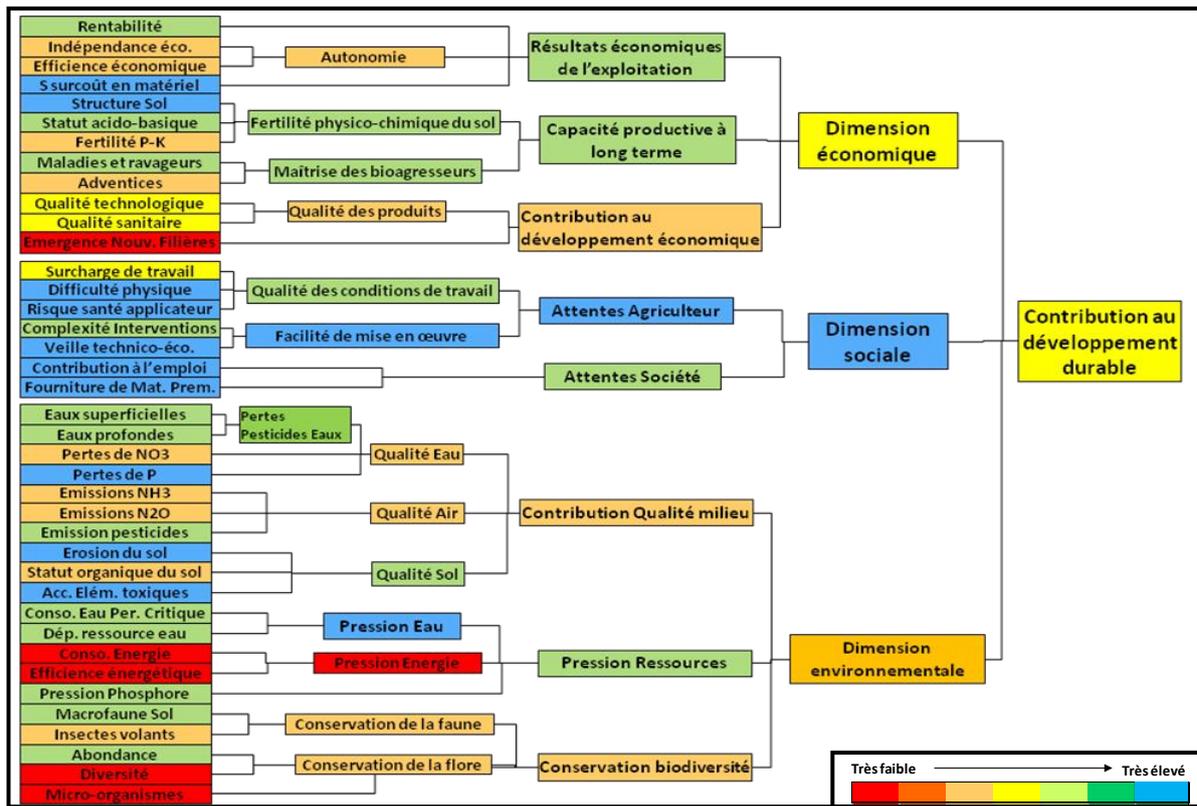


Figure 8 : Arbre des performances d'un système de culture : Exemple de graphique synoptique réalisable manuellement

↑ 3 / 4	Rentabilité			↑ 3 / 4	Résultats économiques de l'exploitation				
↓ 2 / 4	Indépendance éco.								
↓ 2 / 4	Efficiency économique	↔ 2 / 4	Autonomie économique						
↑ 3 / 3	Surcoût en matériel								
↑ 3 / 4	Maitrise du statut acido-basique du sol								
↑ 4 / 4	Maitrise de l'état structural du sol	↑ 4 / 4	Maitrise de la fertilité physico-chimique	↑ 4 / 4	Capacité productive a long terme	↑ 4 / 5			
↑ 4 / 4	Maitrise de la fertilité phosphopotassique								
↑ 3 / 4	Maitrise des maladies et ravageurs	↔ 3 / 4	Maitrise des bioagresseurs						
↓ 2 / 4	Maitrise des adventices								
↓ 2 / 3	Qualité sanitaire								
↔ 2 / 3	Qualité technologique et esthétique des produits	↔ 2 / 4	Qualité des produits	↔ 2 / 4	Contribution au développement économique				
↓ 1 / 3	Contribution à l'émergence de nouvelles filières								
↓ 2 / 4	Contribution à l'emploi								
↑ 4 / 4	Fourniture de matières premières								
↔ 3 / 4	Complexité des itinéraires techniques								
↑ 3 / 3	Temps de veille technico-économique	↑ 4 / 4	Facilité de mise en œuvre						
↔ 2 / 3	Surcharge de travail								
↑ 1 / 4	Risque pour la santé de l'applicateur	↓ 1 / 4	Qualité des conditions de travail	↔ 2 / 4	Satisfaction des attentes de la société	↑ 3 / 5			
↑ 3 / 3	Difficulté physique								
↑ 3 / 4	Eaux superficielles	↔ 3 / 4	Maitrise des pertes pesticides						
↑ 3 / 4	Eaux profondes								
↓ 1 / 4	Maitrise des de NO ₃	↔ 2 / 4	Contribution à la qualité de l'eau						
↓ 2 / 4	Maitrise des pertes de P								
↑ 3 / 4	Maitrise des émissions de NH ₃								
↑ 3 / 4	Maitrise des émissions de N ₂ O	↔ 2 / 4	Contribution à la qualité de l'air	↔ 2 / 4	Contribution à la qualité du milieu				
↓ 2 / 4	Maitrise des émissions de pesticides dans l'air								
↑ 4 / 4	Maitrise acc. éléments tox.								
↑ 4 / 4	Maitrise du statut organique	↔ 3 / 4	Préservation de la qualité du sol						
↓ 2 / 4	Maitrise de l'érosion								
↑ 3 / 3	Conso. eau d'irrigation en période critique	↑ 4 / 4	Pression Eau						
↑ 3 / 3	Dépendance vis à vis de la ressource en eau								
↑ 1 / 4	Consommation en énergie	↓ 1 / 4	Pression Énergie	↔ 2 / 4	Pression sur les ressources	↑ 1 / 5			
↑ 1 / 3	Efficience énergétique								
↑ 2 / 4	Pression Phosphore								
↓ 2 / 4	Conservation des insectes volants								
↓ 1 / 4	Conservation de la macrofaune du sol	↓ 1 / 4	Conservation de la macrofaune						
↑ 3 / 4	Abondance floristique	↔ 2 / 4	Conservation de la flore	↓ 1 / 4	Conservation de la biodiversité				
↓ 1 / 4	diversité floristique								
↓ 1 / 4	Conservation des micro-organismes								

Figure 9 : Arbre des performances d'un système de culture : Exemple de graphique synoptique réalisable de manière semi-automatique dans un tableur

3-5-3 Utilisation de l'outil dans une démarche d'évaluation itérative

Dans une démarche d'évaluation des systèmes de culture, l'analyse et l'interprétation des résultats sont logiquement suivies de leur valorisation ([Figure 2](#)). Cependant lorsque les résultats ne sont pas jugés entièrement satisfaisants, il est conseillé de revenir sur la construction du système de culture ou sur l'évaluation dans le cadre d'une démarche itérative afin de :

- **Préciser ou redéfinir les priorités de développement durable utilisées comme objectifs assignés aux systèmes de culture à évaluer.**
- **Concevoir un ou plusieurs systèmes de culture innovants *a priori*.** À partir des résultats obtenus ([Figure 2](#)), il est possible de modifier un système de culture évalué une première fois voire d'en reconstruire un nouveau en fonction des inconvénients identifiés lors de la première boucle d'évaluation. Le nouveau système de culture mis au point peut alors être évalué *via* la réalisation d'une seconde itération de MASC.
- **Améliorer le pouvoir discriminant de l'outil en adaptant le choix des valeurs-seuils dans le paramétrage de MASC.** En effet, il peut parfois s'avérer utile d'adapter les valeurs-seuils en fonction de la variabilité des performances observées sur les systèmes de culture évalués pour améliorer le pouvoir discriminant des critères basiques et donc de l'outil.
- **Comparer les performances des systèmes de culture en simulant des changements de contexte et d'enjeux.** A titre d'exemple, il est possible de simuler différents scénarios économiques en modifiant les données utilisées pour calculer les indicateurs (prix de vente des produits récoltés, coût d'achat des intrants...). Il est aussi possible de simuler des changements d'enjeux en faisant évoluer les priorités de développement durable en modifiant les pondérations pour repérer par exemple les systèmes qui sont les plus durables lorsqu'on privilégie les enjeux relatifs au réchauffement climatique, à la qualité de l'eau, à la conservation de la biodiversité...

4 Exemple d'application à un cas pratique en Bourgogne

4-1 Définition des objectifs

Cette première étape permet d'orienter l'évaluation de systèmes de culture en fonction des objectifs recherchés dans le contexte de cette région.

La petite région agricole bourguignonne étudiée dans cet exemple est fortement concernée par la qualité de l'eau. Une diminution des pollutions par les nitrates (en particulier dans les nombreuses zones de la région déclarées vulnérables), et par les produits phytosanitaires est souhaitable. Comme d'autres régions, elle se préoccupe aussi des coûts énergétiques de la production agricole, et de sa consommation en énergie fossile.

Sur les plateaux de Bourgogne, les systèmes de culture sont fondés principalement sur une rotation généreusement fertilisée de type colza suivi de deux céréales à paille. Ces systèmes sont confrontés à une pression importante de certains bio-agresseurs, due aux rotations courtes, en particulier des mauvaises herbes de type géraniums et vulpins, et du sclerotinia sur le colza. Associée à une faible réserve hydrique des sols, cette pression, mal maîtrisée malgré

une utilisation relativement intensive de produits phytosanitaires, pose un problème important d'irrégularité dans les rendements.

Un ensemble d'experts a mobilisé ses connaissances et imaginé de nouveaux systèmes de culture, pour proposer des systèmes plus performants en matière de qualité de l'eau. Dans le cadre du projet ADAR « Faisabilité de la mise en œuvre de Systèmes de culture innovants », le groupe d'experts était constitué d'ingénieurs et de chercheurs issus de l'INRA, de Chambres d'agriculture, d'AgroTransferts et d'Instituts techniques (Reau et Landé, 2006). A l'issue de la phase de prototypage, le groupe d'experts a ainsi proposé plusieurs systèmes de culture originaux. Dans cet exemple, seul est traité le système original PEST-. Sa particularité est d'être particulièrement peu dépendant de l'utilisation de pesticides. Ce système intègre des mesures préventives et curatives pour réduire la pression des bio-agresseurs. Il mobilise différents leviers tels que l'allongement et la diversification de la rotation, le raisonnement et la réduction de la fertilisation azotée et le recours à des pratiques alternatives (désherbages mécaniques...).

4-2 Caractérisation des systèmes de culture

Le système de culture ACTUEL et le nouveau système de culture élaboré par prototypage à dire d'experts (PEST-) ont été décrits dans le contexte des plateaux de Bourgogne, en termes de pratiques agricoles pour l'ensemble des interventions culturales au champ. Ces deux systèmes de culture ont ensuite été caractérisés par le mode d'évaluation des 39 indicateurs associés aux critères basiques de MASC 2.0 (cf. [Tableau 2](#)).

Tableau 2 : Caractérisation des systèmes de culture par le mode de calcul des indicateurs de MASC

Critères de base			Systèmes évalués	
Intitulés des critères		Unités	ACTUEL	PEST -
Rentabilité	MSN	€/ha/an	324	290
Indépendance économique	IND	%	90	87
Efficience économique	EFF	%	125	135
Surcout en matériel	MAT	Note qualitative	Faible	Elevé
Maîtrise du statut acido-basique	MSAB	Note qualitative	Très élevée	Très élevée
Maîtrise de l'état structural	MES	Note qualitative	Très élevée	Très élevée
Maîtrise de la fertilité P-K	MFPF	Note qualitative	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée
Maîtrise des maladie et des ravageurs	MMR	Note qualitative	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée
Maîtrise des adventices	MADV	Note qualitative	Très élevée	Très élevée
Qualité sanitaire	QS	Indice défini à dire d'experts	1.3	0.7
Qualité technologique	QTEP	Indice défini à dire d'experts	Elevée	Moyenne
Contribution à l'émergence de nouvelle filière	CENF	Indice défini à dire d'experts	Faible	Moyenne
Contribution à l'emploi	EMP	Nb d'heures travaillées/ha/an	3.0	3.3
Fourniture de matières premières	FMP	%	100	85
Complexité des itinéraires techniques	CIT	Indice défini à dire d'experts	1.3	1.1
Temps de veille technico-économique	TVTE	Nb de cultures différentes	3	6
Surcharge de travail	ST	Note qualitative	Moyenne	Faible
Risque pour la santé de l'applicateur	TOX	passages avec pdt ☐ toxique/ha	3.8	1.2
Difficulté physique	DIFF	Indice défini à dire d'experts	0	0
Perte de pesticides dans les eaux superficielles	MPES	note INDIGO de 0 à 10	6.5	7.5
Perte de pesticides dans les eaux profondes	MPEP	note INDIGO de 0 à 10	9.2	9.6
Maîtrise des pertes de NO ₃	MPNO3	note INDIGO de 0 à 10	4	6
Maîtrise des pertes de P	MPPH	Note qualitative	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée
Maîtrise des émissions de NH ₃	MNH3	note INDIGO de 0 à 10	8.5	5.6
Maîtrise des émissions de N ₂ O	MN2O	note INDIGO de 0 à 10	2,4	7.5
Maîtrise des émissions de pesticides dans l'air	MPPA	note INDIGO de 0 à 10	8.4	9.3
Maîtrise de l'accumulation d'éléments toxiques	MAET	Note qualitative	Très élevée	très élevée
Maîtrise du statut organique	MSO	note INDIGO de 0 à 10	4	6
Matière de l'érosion	MERO	Note qualitative	Très élevée	Très élevée
Conso. en eau d'irrigation en période critique	IRRC	note INDIGO de 0 à 10	0	0
Dépendance vis-à-vis de la ressource en eau	DPEAU	mm/ha/an	Faible	Faible
Consommation en énergie	CEN	note INDIGO de 0 à 10	5	7.1
Efficience énergétique	EEN	%	76	60
Pression Phosphore	PSPH	kg P2O5/ha/an	61	56
Conservation des insectes volants	CMIV	Note qualitative	Faible à moyenne	Moyenne à élevée
Conservation de la macrofaune du sol	CMS	Note qualitative	Moyenne à élevée	Moyenne à élevée
Abondance floristique	ABOF	Note qualitative	Moyenne à élevée	Très faible
Diversité floristique	DF	Note qualitative	Très faible	Moyenne à élevée
Conservation des micro-organismes	CMOS	Note qualitative	Très faible	Moyenne à élevée

La lecture et l'analyse du [Tableau 2](#) permet de constater que dans ce cas d'étude, le nouveau système de culture répond mieux aux objectifs de qualité des eaux que le système ACTUEL, et présente de meilleures performances environnementales. En revanche sur les critères économiques et sociaux, l'avantage reste sur certains critères au système ACTUEL.

Dans ces conditions, il n'est pas possible de conclure sur la pertinence de PEST- car la caractérisation par ces différents critères n'est pas suffisante : ils sont en l'état trop nombreux pour être facilement gérés, et non hiérarchisés. Une évaluation via MASC est nécessaire pour classer les systèmes de culture en prenant en compte les priorités qui ont été identifiées dans cette région. Ceci implique auparavant d'adapter le modèle au contexte local.

4-3 Adaptation du modèle MASC au cas 'Bourgogne'

Cette deuxième étape permet d'adapter MASC en fonction des objectifs recherchés (hiérarchisation, pondération des critères) et des principaux traits des systèmes de culture régionaux (discrétisation des critères). Pour adapter le modèle au cas des petites terres de Bourgogne, le groupe de travail est intervenu sur deux niveaux de l'arbre :

- **Sur les feuilles de l'arbre :** en adaptant au niveau des critères basiques certaines des valeurs-seuils proposées pour discriminer au mieux les systèmes de culture évalués en fonction des préférences des acteurs et du contexte local.
- **Sur les nœuds de l'arbre :** en modifiant les pondérations entre critères pour accentuer l'évaluation sur les domaines de préoccupation jugés prioritaires dans le contexte d'étude.

4-3-1 Définition des classes qualitatives : choix de valeurs-seuils

Les valeurs-seuils proposées dans MASC ont été mises en discussion avec les experts locaux mobilisés autour de l'évaluation. Certaines de ces classes proposées par défaut ont été modifiées à partir des connaissances et des références techniques que possèdent les membres du groupe afin d'adapter au mieux l'évaluation au contexte de la Bourgogne et des systèmes de culture à base de colza-blé-orge. L'exemple ci-dessous (cf. [Figure 10](#)) présente le choix de seuils pour un critère économique, la rentabilité, compte tenu de la gamme de valeurs obtenues sur les systèmes évalués. Ainsi, trois seuils ont été proposés dans ce contexte : 200, 300, et 400 €/ha, ce qui a permis de définir quatre classes.

Critère sélectionné

Edit Attribut Scale
Cliquer sur cet icône pour ouvrir l'éditeur d'échelle du critère sélectionné.

Editeur d'échelle du critère Rentabilité : Scale Rentabilité

Value	Description
très faible	< 200 €/ha
faible à moyenne	[200 €/ha - 300 €/ha [
moyenne à élevée	[300 €/ha - 400 €/ha [
très élevée	> 400 €/ha

Edit current value and its description
Cliquer sur cet icône pour renseigner et définir l'échelle du critère sélectionné.

Ici, la rentabilité d'un système avec une marge semi-nette inférieure à 200 €/ha est qualifiée de **très faible**.

Figure 10 : Edition d'une échelle de classes dans DEXi MASC

4-3-2 Adaptation des règles d'agrégation dans l'arbre

Dans le vocabulaire DEXi, ce travail est appelé « Edition des fonctions d'utilité du modèle ». Dans la version livrée de MASC 2.0, les concepteurs de la méthode ont pré-renseigné les fonctions d'utilité en édictant pour certaines d'entre elles des pondérations minimales à respecter pour ne pas dénaturer l'évaluation de la contribution des systèmes au développement durable. Pour contextualiser l'évaluation, le groupe « Bourgogne » a décidé de travailler sur les poids des critères liés aux principaux objectifs visés, c'est-à-dire le risque pesticide pour la qualité de l'eau et également la consommation d'énergie.

On rappelle qu'il est conseillé de revoir règle par règle l'ensemble des fonctions de MASC, mais, faute de temps, lorsque les poids pré-renseignés au niveau d'une agrégation étaient en accord avec le point de vue global du groupe, les fonctions d'agrégation ont été conservées telles quelles. Au niveau environnemental, ont ainsi été discutés plus particulièrement les critères suivants :

- Contribution à la dimension environnementale, CDENV
- Contribution à la qualité du milieu, CQM
- Contribution à la qualité des eaux, CQE
- Maîtrise des pertes de pesticides dans les eaux, MPPE
- Contribution à la qualité de l'air, CQA
- Pression sur les ressources abiotiques, PSRA
- Pression Energie, PSEN

Le groupe a défini *de novo* chacune des fonctions d'agrégation de ces sept critères, en veillant à respecter les pondérations minimales édictées par les concepteurs de MASC (cf. [Figure 4](#)).

Les deux méthodes de renseignement des fonctions d'utilité ont été utilisées par le groupe pour modifier les fonctions d'utilité :

- **La méthode manuelle** (cf. [Annexe II B.2](#)) qui consiste à implémenter une à une des règles de décision lorsque les tables d'agrégation intègrent peu de règles de décision. Cette méthode permet de remplir avec une précision importante les tables de contingence mais s'avère néanmoins fastidieuse lorsque le nombre de règles de décision à renseigner est élevé. Le « groupe Bourgogne » a donc utilisé cette méthode pour les fonctions d'utilité dont le nombre de règles de décision est inférieur à 30.
- **La méthode semi-automatique** (cf. [Annexe II B.3](#)) qui consiste à pré-renseigner les tables d'agrégation par le logiciel DEXi en affectant un poids à chaque critère puis en révisant une à une chacune des règles de décision. Cette méthode est plus rapide et facilite le renseignement des fonctions d'utilité plus complexes. Le groupe Bourgogne a utilisé cette méthode pour les fonctions d'utilité comportant plus de 64 règles de décision.



✓ **Il est recommandé de toujours vérifier et discuter les règles proposées par DEXi.**

✓ **Il faut aussi veiller à ce que le nombre d'occurrences de chaque classe qualitative du critère agrégé soit le plus équilibré possible pour optimiser la sensibilité de l'outil. La distribution des classes proposées par DEXi est souvent déséquilibrée et il convient généralement d'augmenter le nombre de classes extrêmes et de réduire le nombre de classes intermédiaires (cf. [Annexe II B.3](#)).**

La [Figure 11](#) montre les poids choisis par le groupe pour la construction de son arbre hiérarchique. Les poids affichés dans des rectangles rouges sont les poids « par défaut », établis par les concepteurs de MASC et les poids figurant dans des ellipses bleues ont été définis par discussion entre partenaires. Les poids relatifs les plus importants ont été donnés aux critères ciblés par le groupe lors de sa définition des objectifs ou aux critères qui les agrègent : 60 % pour les **Pertes de pesticides dans les eaux**, 60 % pour la **Contribution à la qualité de l'eau**, 60 % **Contribution à la qualité du milieu**.

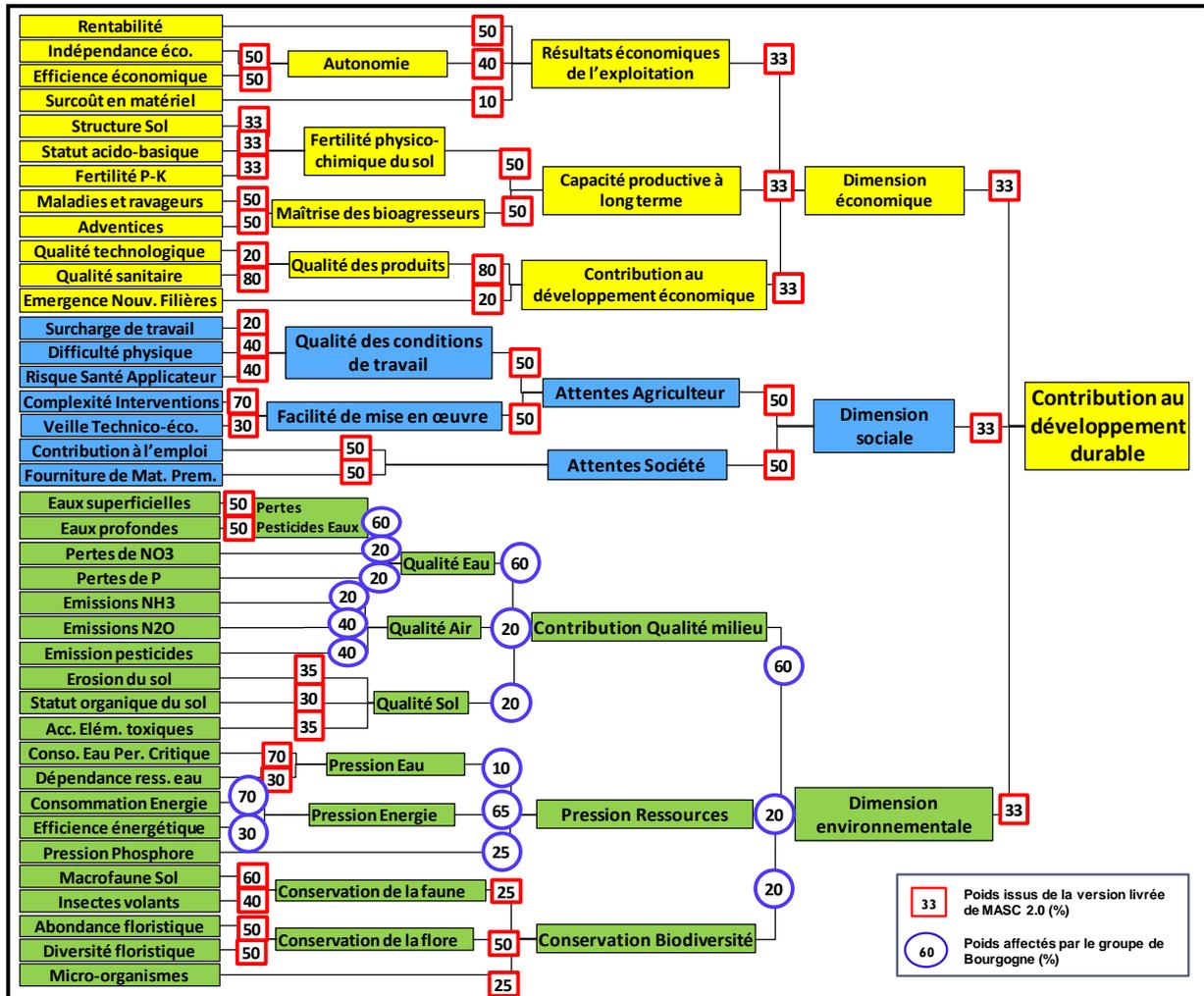


Figure 11 : Arbre hiérarchique sous MASC et poids choisis pour l'étude en Bourgogne

4-4 Evaluation globale des systèmes de culture

Cette quatrième étape est réalisée après la mise en œuvre de MASC. Elle consiste à prendre connaissance des sorties, et à analyser les résultats obtenus pour évaluer comment les systèmes de culture étudiés permettent de répondre globalement aux priorités exprimées au départ, de sélectionner des systèmes de culture à tester au champ, comme de réaliser un diagnostic d'ensemble des performances des systèmes au regard de leur contribution au développement durable.

Après avoir saisi la caractérisation sous forme de variables qualitatives sous l'onglet **Options**, les résultats de l'évaluation par le modèle MASC sont accessibles via les onglets **Evaluation** et **Charts**.

On peut constater sur la [Figure 12](#) que le système PEST- contribue de manière plus efficace au développement durable que le système ACTUEL. Le groupe Bourgogne a alors effectué une analyse plus précise des raisons ayant abouti à ce classement. Pour y parvenir, les utilisateurs ont comparé les performances des systèmes de culture prises par les critères d'évaluation situés à des niveaux inférieurs dans l'arbre.

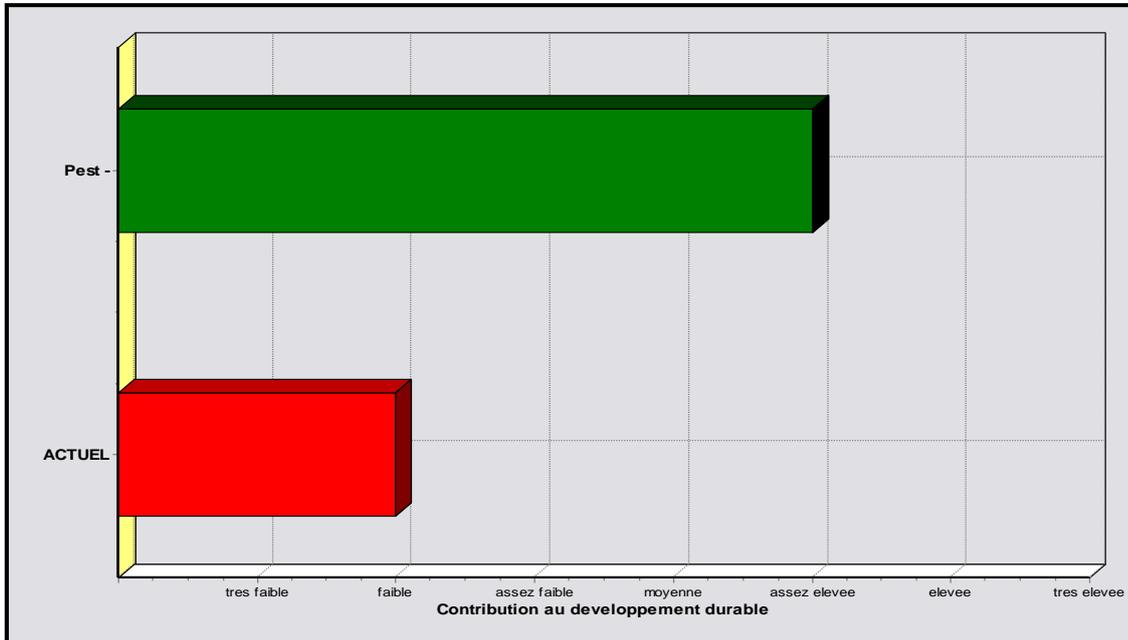


Figure 12 : Histogramme provenant de DEXI dans lequel la contribution au développement durable des systèmes de culture évalués est comparée.

Sur la [Figure 13](#), on peut voir que le système PEST- contribue mieux à la dimension sociale que le système ACTUEL tout en maintenant un niveau de performance équivalent au regard de la dimension économique du développement durable.

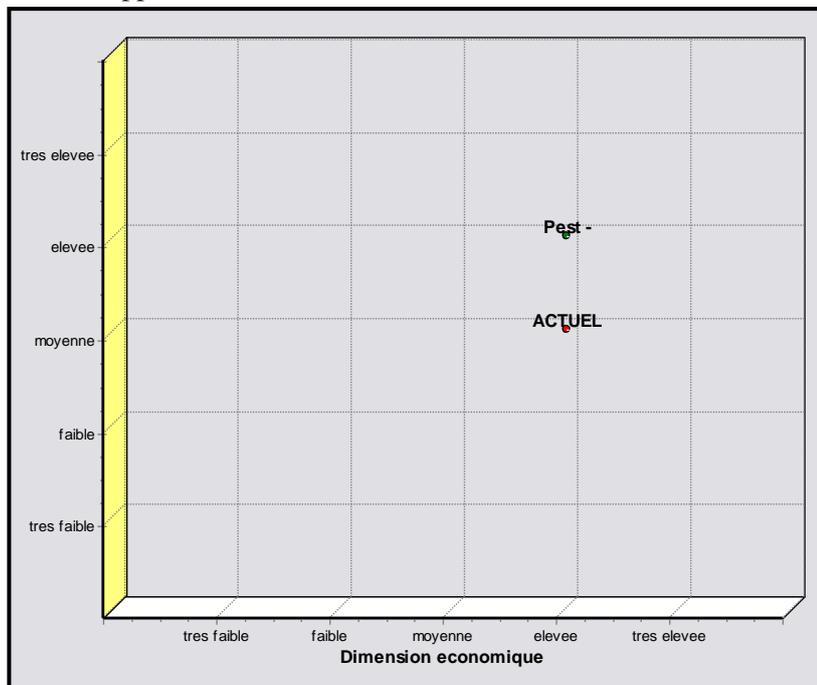


Figure 13 : Diagramme provenant de DEXI dans lequel les performances des systèmes de culture sont comparées selon leur contribution à la dimension sociale et économique du développement durable

Les deux radars présentés dans la [Figure 14](#) montrent les valeurs obtenues par les deux systèmes de culture pour six critères d'évaluation de la dimension environnementale. On constate ici que le système de culture PEST- obtient de bien meilleurs performances environnementales que le système ACTUEL.

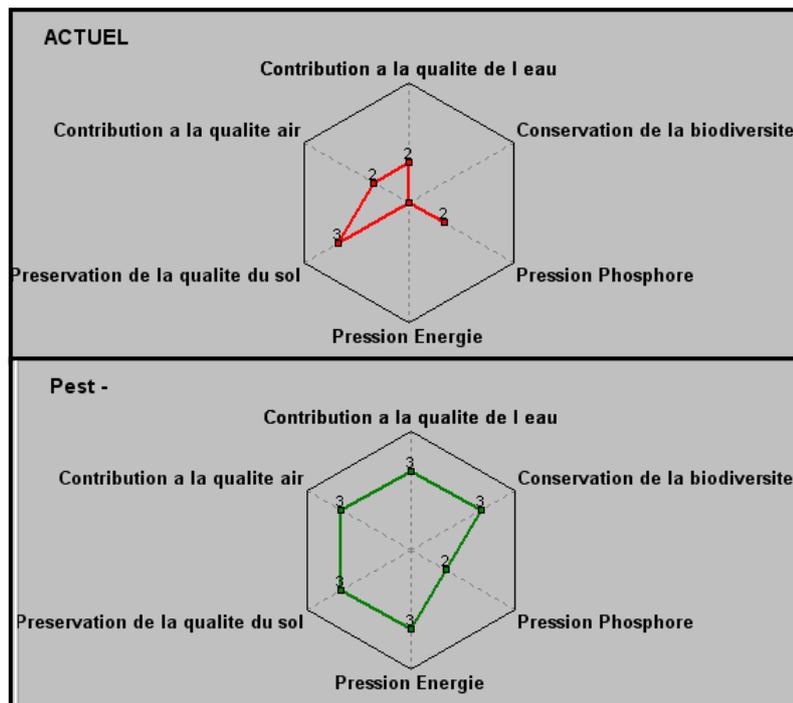


Figure 14 : Radars provenant de DEXi permettant de comparer les performances des systèmes de culture évalués obtenues sur six critères d'évaluation de la dimension environnementale

4-5 Conclusion

Deux étapes préalables sont importantes avant l'évaluation globale des systèmes de culture :

- la définition et l'adaptation des fonctions d'utilité de MASC en fonction des préférences et des connaissances relatives au contexte des porteurs d'enjeux,
- la description et la caractérisation des systèmes de culture *via* le calcul des indicateurs et le renseignement des critères basiques.

L'outil MASC permet alors de :

- réaliser une évaluation globale des systèmes de culture et d'en apprécier leurs performances d'ensemble selon plusieurs critères,
- classer les systèmes de culture entre eux au niveau global ou à un niveau intermédiaire (par exemple au niveau des trois dimensions du développement durable),
- réaliser un diagnostic pour comprendre un classement sur un critère agrégé donné en analysant les résultats obtenus sur les critères sous-jacents,
- simuler rapidement l'effet d'un changement de classe d'un critère de base quand on a un doute à son sujet,
- estimer l'impact d'un changement dans les poids relatifs accordés aux critères d'évaluation sur les performances d'un système de culture.

Aide à la Décision : Discipline qui fournit des méthodes et des outils pour l'analyse des problèmes de décision dans le but d'aider les personnes concernées à prendre de meilleures décisions. Le problème de décision auquel MASC tente de répondre est : quels sont les systèmes de culture contribuant le mieux au développement durable ?

Arbre hiérarchique des critères : Dans un modèle multicritère, les critères sont généralement organisés hiérarchiquement dans un arbre. Le critère-racine, dans MASC le critère de Contribution au développement durable, est décomposé en trois critères de niveau inférieur : la Contribution à la dimension économique, la contribution à la dimension sociale et la contribution à la dimension environnementale. Chacun d'eux est décomposé à son tour en plusieurs critères. La structure hiérarchique issue de ces décompositions est appelée Arbre hiérarchique des critères. Les 65 critères de MASC sont hiérarchisés dans un arbre à six niveaux ; le niveau supérieur est constitué par le critère racine et le dernier niveau par les 39 critères de base.

Arbres satellites : Les arbres satellites sont des indicateurs composites implémentés sur DEXi. Ces arbres ont été construits pour instruire certains critères basiques de MASC dont le domaine de préoccupation est trop complexe pour être évalué directement par un simple calcul ou par une appréciation experte. Les différents critères constituant ces arbres satellites sont renseignés soit par une expertise dirigée soit par des calculs plus formels. L'utilisation des arbres satellites étant facultative, ces derniers ont été implémentés dans deux fichiers .dxi spécifiques :

- Un fichier intitulé « arbres satellites. dxi » dans lequel tous les arbres satellites sont implémentés un à un.
- Un fichier intitulé « arbre MASC + arbres satellites.dxi » dans lequel tous les arbres satellites proposés sont connectés à l'arbre de MASC 2.0 *via* les critères basiques concernés.

Critères : Ce sont les variables des modèles multicritères. Dans MASC, ces critères sont qualitatifs et sont tous associés à une préoccupation élémentaire vis à vis du développement durable. Selon leur position dans l'arbre, on distingue :

- Les critères basiques ou « feuilles » : situés au niveau le plus bas de l'arbre, ils représentent les entrées du modèle multicritère.
- Les critères agrégés : ce sont tous les autres critères dont les valeurs qualitatives sont calculées par l'intermédiaire du modèle. Ils incluent le critère-racine.

Critères « linked » : Dans le logiciel DEXi, lorsqu'il existe dans un modèle deux critères ayant le même nom et les mêmes classes qualitatives, ils sont logiquement déclarés "Linked" et sont alors considérés comme un seul et même critère. Cette fonctionnalité permet notamment de faciliter l'implémentation des valeurs prises par les critères basiques en ne renseignant qu'une seule fois ce type de critère. DEXi reconnaît automatiquement les critères linked en leur associant le symbole suivant : . Si les critères linked n'apparaissent pas dans l'onglet *Model*, il faut alors vérifier que la case « *Link Equal Attribute* » soit bien cochée dans le menu File/Setting/Advanced.

Échelle de classes : Une échelle représente le jeu de valeurs, qualitatives et discrètes, qui peut être assigné à un critère ; on nomme « classes » ces valeurs. Ce sont des mots tels que « faible », « moyen » ou « élevé ». Dans MASC, au sein d'une échelle, les classes sont ordonnées de manière croissante, *i.e.* de la plus mauvaise valeur en termes de contribution au développement durable, à la meilleure.

Fonction d'utilité, ou Fonction d'agrégation : Ces fonctions définissent les agrégations entre critères. Une fonction exprime la relation entre un critère agrégé et ses critères descendants. Une fonction représente toutes les combinaisons possibles entre les valeurs que peuvent prendre les critères de niveau inférieur. Pour chaque combinaison est définie la valeur du critère agrégé. Une combinaison correspond de ce fait à une règle de décision.

Indicateur : Les indicateurs sont des variables qui fournissent des renseignements sur d'autres variables plus difficiles d'accès. Dans un indicateur, la (ou les) variable(s) retenue(s) sont positionnées par rapport à des valeurs-seuils qui servent au diagnostic, à l'aide à la décision ou à la communication. Dans le vocabulaire utilisé pour l'évaluation multicritère avec MASC, la notion d'indicateur est distinguée de la notion de critère : les indicateurs permettent de renseigner les critères basiques, tandis que les critères de l'arbre (basiques ou agrégés) font référence à un domaine de préoccupation du développement durable. Par exemple, l'indicateur de la marge semi-nette (et les valeurs-seuils qui lui sont propre) permet de renseigner le critère Rentabilité.

Modèle Multi-attributs ou Multicritère : Ce type de modèle utilisé en Analyse de la décision permet de coder des connaissances et des données pertinentes afin de résoudre un problème de décision. Il représente la décomposition du problème en plusieurs sous-problèmes. Ces modèles permettent de prendre en compte plusieurs objectifs, parfois conflictuels. MASC prend par exemple en compte à la fois des objectifs économiques, sociaux et environnementaux, souvent difficiles à atteindre conjointement. Un modèle multicritère est constitué de critères et de fonctions d'agrégation.

Poids : Les poids, exprimés dans DEXi en pourcentage, sont communément utilisés en analyse de la décision pour représenter les importances relatives des différents critères. DEXi calcule des poids correspondant aux règles de décision entrées par les utilisateurs.

Règle de décision : On appelle règle de décision, chacune des combinaisons possibles de valeurs des critères de niveau inférieur associée à une valeur de critère agrégé (de niveau supérieur). Ce sont des règles du type si-alors : Si la valeur du critère A est ... et celle du critère B est ..., alors celle du critère agrégé est Pour un critère agrégé, l'ensemble des règles de décision représentant toutes les combinaisons possibles entre les valeurs des critères concernés par l'agrégation constitue la fonction d'agrégation, nommé aussi Fonction d'utilité dans DEXi.

Références bibliographiques

- Attoumani-Ronceux A., Aubertot J-N, Guichard L., Jouy L., Mischler P., Omon B., Pleyber E., R. Reau, A. Seiler, 2011. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économes en produits phytosanitaires : Application aux systèmes de polyculture, Document 1. 78 p. Disponible sur : <http://78.155.145.122/rmtsci/moodle/mod/resource/view.php?inpopup=true&id=354>
- 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*, volume 7, p. 261-270.
- 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, p. 29-51.
- 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.*, volume 281, p. 139-149.
- Bockstaller C., Wohlfahrt J., Huber A., Hennebert P., Zahm F., Vernier F., Keichinger O., Girardin P., 2008. Les indicateurs de risque de transfert de produits phytosanitaires et leur validation: exemple de l'indicateur I-PHY. *Ingénieries*, n°86, p. 103-114.
- Bockstaller C., Girardin P., 2006. Mode de calcul des indicateurs agri-environnementaux de la méthode Indigo : version 1.8 du logiciel. UMR-INPL (ENSAIA)-INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar, 117 p.
- Bohanec M., 2003. Decision support, in: Mladeni D., Lavra N., Bohanec M., Moyle S. (Eds), *Data mining and decision support: Integration and collaboration*. Kluwer Academic Publishers, Boston, Dordrecht, London, p. 23-35.
- Bohanec, M., Džeroski, S., Žnidaršič, M., Messéan, A., Scatasta, S., Wesseler, J., 2004. Multiattribute modeling of economic and ecological impacts of cropping systems, *Informatica* 28, p. 387-392. <http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/pub/Informatica2004.pdf>
- Bohanec, M., Messéan, A., Angevin, F., Žnidaršič, M., 2006. SMAC Advisor: A decision-support tool on coexistence of genetically-modified and conventional maize. *Proc. Information Society IS 2006*, Ljubljana, p. 9-12. Disponible sur : http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/pub/IS2006_SMAC.pdf
- 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, p. 247-261.
- Bohanec M., 2011. DEXi: A Program for Multi-Attribute Decision Making, <http://www-ai.ijs.si/MarkoBohanec/dexi.html>
- Boiffin J., Hubert B., Durand N, 2004. *Agriculture et développement durable : enjeux et questions de recherche*. INRA, Paris, 91 p.
- Brundtland G.H., 1989. *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://www.itab.asso.fr/programmes/rotation.php>
- 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 & le RMT DévAB. 23 et 24 juin 2011, Strasbourg, 20 p.
- 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/colloqunew/colloque/Comm/Froger-Oberti.doc>

- 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>
- 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. Elaboration à dire d'experts de systèmes de culture innovants. 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, p. 91-107.
- 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, p. 11-27.
- Mischler P., Hocdé H., Triomphe B., Omon B.. 2008. In Reau R. et Doré T. (Eds) Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri Editions, Dijon, p. 71-89.
- Pervanchon F., Bockstaller C., Girardin P., 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural Systems*, volume 72, p. 149-172.
- Pervanchon F., Bockstaller C., Bernard P. Y., Peigné J., Amiaud B., Vertès F., Fiorelli J. L., Plantureux S., 2005. A novel indicator of environmental risks due to nitrogen management on grasslands. *Agriculture Ecosystems and Environment*, volume 105, p. 1-16.
- Reau R., Doré T., 2008. Systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ? Educagri Editions, Dijon, 176 p.
- Reau R., Landé N. 2006a. Évaluation a priori de systèmes de culture innovants conçus par des experts et adaptés à des contextes régionaux. Rapport final du workPackage 1 du projet ADAR "Systèmes de cultures innovants", 27 p.
- Reau R. 2006b. Actes du Séminaire "Systèmes de culture innovants" – Projet ADAR « Systèmes de culture innovants » piloté par le CETIOM, Versailles, 27 juin 2006, 192 p.
- Reus, J., Leenderste, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., Van Der Werf, H., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., Mcgrath, D., Seppälä, T., 2002. Comparing and evaluating eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture Ecosystems and Environment*, volume 90, p. 177-18
- 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.*, volume 28, issue 1, p. 163-174.
- 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.*, volume 29, Issue 3 p. 447-461.
- 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, p. 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.
- Van Der Werf H. M. G., Zimmer C., 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere*, volume 36, p. 2225-2249.
- Vilain L., Boisset K., Girardin P., Guillaumin A., Mouchet C., Viaux P., Zahm F., 2008. La méthode IDEA : Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles - Guide d'utilisation, 3^{ème} édition, Editions Educagri, Dijon, 159 p.

I. Présentation des premiers utilisateurs et des experts sollicités lors de la mise au point de MASC 2.0

A/ Liste des premiers utilisateurs de MASC

Organismes	Commanditaires de l'évaluation (Personnes ressources)	Stagiaires	Cadre d'utilisation de MASC
INRA Guadeloupe	JM. Blazy	J. Tirolien	Evaluation multicritères de la durabilité de systèmes de culture bananiers innovants en Guadeloupe : Adaptation et utilisation de l'outil MASC
CIRAD	E. Scopel	M-A. Flandin	Evaluation de la durabilité de systèmes de culture de petits producteurs de la réforme agraire dans les Cerrados brésiliens
CA Bretagne	MM. Cabaret	C. Fisson	Evaluation <i>a priori</i> de sdc à bas niveau d'intrants en système spécialisé porcs-cultures
Lycée Agricole Public de Quetigny	D. Lelay	C. Perruche	Evaluation de la durabilité de systèmes de culture innovants à Tart-Le-bas
INRA Grignon/CA Eure	B. Omon R. Reau	B. Laglaise	Evaluation de systèmes de culture innovants dans l'Eure
CA Morbihan	D. Heddadj	V. Bors P. Herpin	Conception de sdc durables pour la mise en place d'une expérimentation en grandes cultures dans le contexte de l'agriculture bretonne
CRA Bourgogne	MS. Petit	M. Dumas	Evaluation multicritère et globale de systèmes de culture avec et sans protéagineux dans des exploitations bourguignonnes
INRA Toulouse	B. Colomb	M. Blouin D. Craheix	Adaptation du modèle MASC aux particularités des systèmes de culture biologique (MASCOP)

B/ Liste des experts sollicités lors de la mise au point de MASC 2.0 :

- A. Barbottin (INRA UMR SAD-ADPT, Grignon)
- M. Bertrand (INRA UMR Agronomie, Grignon)
- M. Cerf (INRA UMR Agronomie, Grignon)
- M. Dumas (INRA UMR Agronomie, Grignon)
- F.X. Gaumont (MEAC – groupe chaulage du COMIFER)
- M. Gosme (INRA UMR Agronomie, Grignon)
- F. Jacquet (INRA UMR Economie publique, Grignon)
- J. Lecomte (Université Paris-Sud 11)
- P. Lucas (INRA UMR BIO3P, Rennes)
- P. Martin (AgroParisTech, UMR SAD-APT, Grignon)
- N. Munier-Jolain (INRA, UMR BGA, Dijon)
- L. Prost (INRA UMR Agronomie, Grignon)
- J. Roger-Estrade (AgroParisTech, UMR Agronomie, Grignon)
- V. Souchère (INRA UMR SAD-APT, Grignon)
- M. Valantin-Morison (INRA UMR Agronomie, Grignon)

II. Tutoriel DEXi

Les principales fonctions du logiciel DEXi présentées dans cette annexe sont listées ci-dessous :

- A. Eléments de compréhension de l'arborescence MASC dans le logiciel DEXi**
- B- Adaptation des pondérations : renseignement des fonctions d'utilité**
- C- Implémentation dans DEXi des valeurs qualitatives prises par les systèmes de culture évalués**
- D- Réalisation de sorties graphiques avec DEXi**
- E- Création d'un rapport d'évaluation**
- F- Import/export d'une fonction d'utilité**
- G- Import/export des options**

Pour de plus amples informations sur les fonctionnalités de l'outil DEXi, il est conseillé de se référer au manuel d'utilisation DEXi disponible à l'adresse Internet suivante :

<http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/DEXi/html/DEXiDoc.htm>

A. Éléments de compréhension de l'arborescence MASC dans le logiciel DEXi

La figure suivante présente quelques repères dans le logiciel DEXi pour faciliter la lecture et l'utilisation de l'arborescence MASC.

The screenshot displays the DEXi software interface. On the left, a hierarchical tree structure (MASC) is shown, with the 'Indépendance économique' criterion selected. On the right, a detailed view of this criterion is shown, including its name, description, and scale. The interface includes a menu bar (File, Edit, Window, Help), a toolbar, and a status bar at the bottom.

Annotations with arrows point to the following elements:

- Arborescence de MASC
- Nom du critère sélectionné
- Description succincte du critère d'évaluation
- Description des valeurs qualitatives potentiellement prises par le critère d'évaluation sélectionné
- Cliquer sur ces icônes pour modifier l'ordre d'affichage des critères dans l'arbre.
- Cliquer sur ces icônes pour réduire ou développer l'affichage de l'arborescence hiérarchique.

La figure suivante présente quelques repères dans le logiciel DEXi pour faciliter la lecture et l'utilisation du fichier intitulé « arbre MASC + arbres satellites.dxi » du package MASC 2.0.

Arborescence de MASC

Le symbole  indique que ce critère est Critères « linked » et qu'il sera renseigné par ailleurs dans le modèle par le critère portant le même intitulé : ici l'arbre satellite **Maîtrise de l'état structural du sol** (Cf. ci-dessous).

Liste des arbres satellites permettant de renseigner certains critères basiques de l'arborescence MASC.

Arbres satellites permettant de renseigner le critère **Maîtrise de l'état structural du sol**.

Attributes: 131 (58 basic, 24 linked, 49 aggregate) | Scales: 131 | Functions: 49

B- Adaptation des pondérations : renseignement des fonctions d'utilité

B.1 Etapes préliminaires au renseignement des fonctions d'utilité :

✓ Etape 1 : Sélection de la fonction d'agrégation

- Exemple du critère agrégé **Pression sur l'énergie** :

1 Dans l'onglet *Model* : cliquer sur le critère agrégé souhaité :

2 **Edit Utility Function**
Cliquez sur cette icône pour afficher la fonction d'utilité du critère sélectionné.

Decision rules Pression Energie

Consommation en energie	Efficiency energetique	Pression Energie
1 elevee	faible	tres elevee
2 elevee	moyen	tres elevee
3 elevee	elevé	moyenne a elevee
4 moyenne	faible	tres elevee
5 moyenne	moyen	moyenne a elevee
6 moyenne	elevé	faible a moyenne
7 faible	faible	moyenne a elevee
8 faible	moyen	faible a moyenne
9 faible	elevé	tres faible

Rules: 9/9 (100,00%), determined: 100,00% [tres elevee:3,moyenne a elevee:2,tres faible:1]

Pour définir plus facilement une fonction d'agrégation, il est préférable que les critères à agréger soient ordonnés dans l'arbre en fonction de leur poids : le critère auquel on accorde le plus de poids est situé le plus haut dans l'arbre et celui auquel on accorde le moins de poids, le plus bas ; ici le critère **Consommation en énergie** est situé au dessus du critère **Efficiency énergétique**.

Les boutons et , à droite de l'arbre dans l'onglet « *Model* » permettent, le cas échéant, de faire descendre ou monter un critère dans l'arbre. En cliquant sur l'icône **Edit Utility Function**, s'affiche à l'écran une fenêtre intitulée « *Decision rules Pression Energie* ». On peut y voir un tableau avec, en lignes, les règles de décision renseignées par les concepteurs de MASC. Ici, les deux critères de base peuvent chacun être décrits par trois classes qualitatives ; il existe donc $3 \times 3 = 9$ combinaisons possibles entre ces deux critères, soit neuf règles de décision à renseigner.

✓ **Etape 2 : Suppression des règles de décision pré-remplies**

Avant de renseigner la fonction d'utilité dans DEXi, il faut dans un premier temps supprimer les règles de décision prédéfinies (affichées avec une police en gras) à l'aide de la touche « Suppr. » du clavier. Les valeurs supprimées sont alors représentées par des astérisques.

1 La case *Use weights* doit au préalable être décochée.

2 Les règles, déjà renseignées dans la version livrée de MASC 2.0, ont été supprimées une à une en utilisant soit le bouton ou en utilisant la touche clavier *delete* du clavier (ou *supprimer*), laissant place à un astérisque *.

! En bas à gauche de la fenêtre, on peut voir le nombre de règles renseignées sur le nombre de règles total. Cet exemple concerne une fonction d'agrégation composée de neuf règles, car chacun des critères à agréger est décrit par trois classes (faible, moyen et élevé) :
 $3 \text{ (critère A)} \times 3 \text{ (critère B)} = 9 \text{ règles.}$

! Dans cet exemple, aucune règle de décision n'a encore été renseignée sur les neuf règles caractérisant la fonction d'utilité.

Critere A	Critere B	Critere agrégé
1 faible	faible	*
2 faible	moyen	*
3 faible	élevé	*
4 moyen	faible	faible
5 moyen	moyen	moyen
6 moyen	élevé	élevé
7 élevé	faible	moyen
8 élevé	moyen	élevé
9 élevé	élevé	élevé

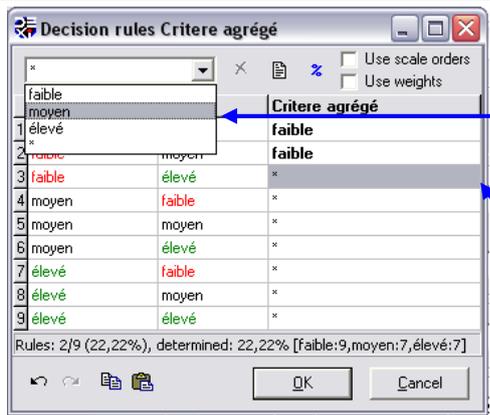
Critere A	Critere B	Critere agrégé
1 *	faible	*
2 *	moyen	*
3 *	élevé	*
4 *	faible	*
5 *	moyen	*
6 *	élevé	*
7 *	faible	*
8 *	moyen	*
9 *	élevé	*

B-2 Renseignement des fonctions d'utilité : Méthode de renseignement manuelle

- exemple pour le critère agrégé **Pression sur l'énergie**

Cette méthode est particulièrement adaptée pour le renseignement des fonctions d'utilité simples (≤ 64 Règles de décision). Selon cette méthode, il faut renseigner manuellement ligne par ligne les tableaux d'agrégation.

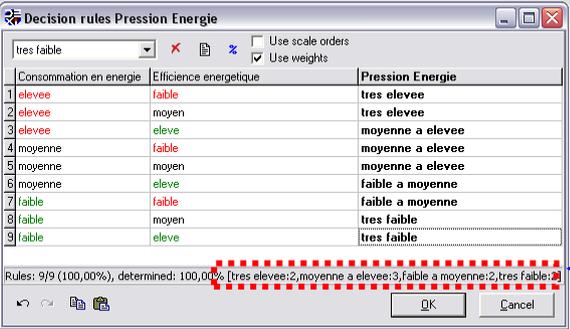
Etape 1 : Renseignement manuelle de la table



1

Le renseignement des règles de décision peut être effectué :

- soit avec la souris en sélectionnant dans un premier temps la ligne à renseigner et en cliquant ensuite sur la classe à affecter dans le menu déroulant indiqué ci-contre.
- soit avec le pavé numérique du clavier. DEXi attribue automatiquement les classes qualitatives du critère agrégé aux touches numériques. Dans cet exemple, les touches 1, 2 et 3 permettent respectivement d'attribuer les classes **faible**, **moyen** et **élevé**.



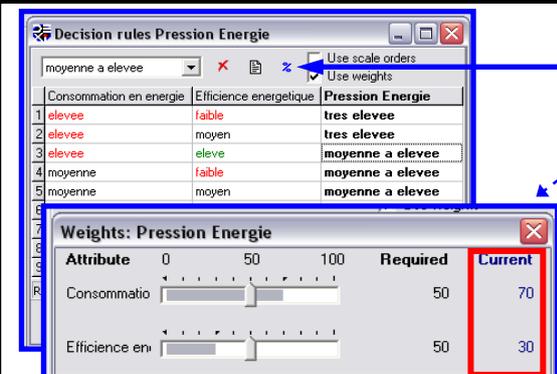
2

Pour optimiser l'aptitude du modèle à discriminer les systèmes évalués, une attention particulière doit être accordée lors de l'affectation des classes qualitatives du critère agrégé (ici : **Pression sur l'énergie**) pour explorer autant que possible la diversité des classes qualitative disponibles :

[tres elevee:2,moyenne a elevee:3,faible a moyenne:2,tres faible:2]

Etape 2 : Visualisation des pondérations estimées par DEXi

Lorsque la table est entièrement renseignée, il est possible de visualiser les poids attribués indirectement par l'intermédiaire des règles de décision grâce à la fonctionnalité « *Weights* » du logiciel DEXi.



1

Cliquer sur l'icône « *Weights* : % » pour visualiser les poids.

2

Sous *Current*, sont visibles les poids actuels des critères, ici :

- 70 % pour la **Consommation en énergie**
- 30 % pour l'**Efficience énergétique**

B.3 Renseignement des fonctions d'utilité : Méthode de renseignement semi-automatique

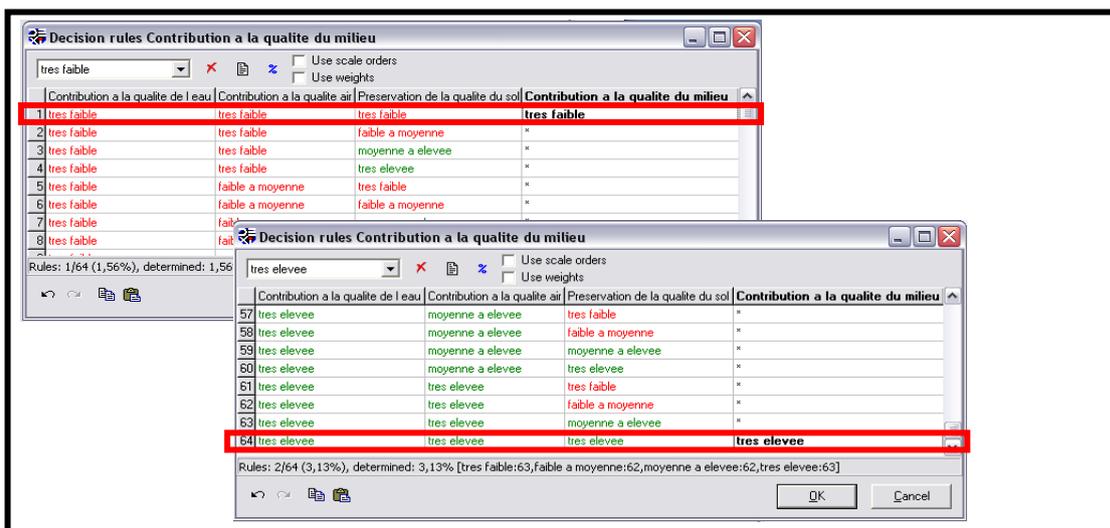
- exemple critère agrégé **Contribution à la qualité du milieu**

Cette méthode est particulièrement adaptée pour le renseignement des fonctions d'utilité relativement complexes (≥ 64 Règles de décision) et des tables d'agrégation dont le poids d'un critère a été réduit à 0%.

Pour mettre en œuvre cette méthode, il convient, après avoir supprimé l'ensemble des règles de décision prédéfinies (cf. § [Etapas préliminaires au renseignement des fonctions d'utilité](#)), de suivre quatre étapes :

✓ Étape 1 : Renseignement de la première et de la dernière règle d'agrégation

Il convient dans un premier temps de renseigner au moins deux règles de décision dans la table d'agrégation : la première et la dernière. Ces deux règles sont rapidement définissables car, dans MASC, elles représentent en termes de contribution au développement durable le pire cas possible (règle 1) et le meilleur (règle 64).



✓ Étape 2 : Détermination et affectation des poids

La détermination des poids dans DEXi nécessite d'ouvrir la fonction « *weights* » en cliquant sur l'icône % de la fenêtre intitulé « *Decision rules Contribution à la qualité du milieu* ».

Sous **Required** on peut voir les poids qui ont été déterminés par l'utilisateur (... en faisant varier les curseurs).

Sous **Current** on peut voir les poids résultant des fonctions d'utilité proposées à cette étape.

Pour des raisons mathématiques, ces poids ne peuvent pas toujours être égaux aux poids désirés, mais s'en approchent au maximum.

Cliquer sur le bouton **Apply** pour que DEXi renseigne la table de contingence en fonction des pondérations définies au préalable par l'utilisateur

✓ **Etape 3 : Visualisation des règles de décision estimées par DEXi**

A partir de ces poids, et des deux règles entrées précédemment, le logiciel propose un renseignement de la table d'agrégation.

En revenant dans la fenêtre *Decision rules*, l'item : Use weights (en français, *Utiliser les poids*) a alors été coché automatiquement.

Dans la colonne **Contribution à la qualité du milieu**, la classe qualitative en gras (**très faible**) a été rentrée manuellement par le groupe. Les autres classes sont celles estimées par DEXi (en police simple).

✓ **Etape 4 : Révision et modification des règles**

L'estimation de règles à partir de poids par DEXi donne lieu à une agrégation compensatoire. Par exemple, dans la règle 4, visible dans la figure ci-dessous, de très mauvaises notes (**très faible**) pour les critères relatifs à la qualité des eaux et de l'air sont compensées par une préservation de la qualité du sol « **très élevée** ». Cependant, on considère généralement que des risques de pollution de l'eau et de l'air très élevés ne peuvent pas être compensés dans l'évaluation de l'impact d'un système de culture sur la qualité du milieu. Dans un souci de non compensation dans l'évaluation, il est donc nécessaire de vérifier les règles proposées par DEXi.

En 1, les règles définies par DEXi.

En 2, la règle 4 a été modifiée par le groupe. DEXi a alors changé certaines des règles qu'il avait calculées, en fonction des poids et de la règle 4 modifiée (flèches bleues).

En 3, le groupe a modifié une autre règle. DEXi a effectué de nouveaux changements.

✓ Il est recommandé de toujours vérifier et discuter les règles proposées par DEXi.

✓ Il faut aussi veiller à ce que le nombre d'occurrences de chaque classe qualitative du critère agrégé Contribution à la qualité du milieu soit le plus équilibré possible pour optimiser la sensibilité de l'outil. Dans cette table, la distribution des classes proposée par DEXi est très déséquilibrée : [tres faible:6,faible a moyenne:26,moyenne a elevee:26,tres elevee:6] . Il est donc conseillé ici d'augmenter le nombre de classes extrêmes du critère agrégé et de réduire le nombre de classes intermédiaires.



C- Implémentation dans DEXi des valeurs qualitatives prises par les systèmes de culture évalués

Une fois que les systèmes de culture ont été caractérisés par les différents indicateurs permettant de renseigner les critères basiques de MASC, il faut entrer dans DEXi les variables qualitatives obtenues pour chaque critère basique de l'arborescence. Les trois étapes qui permettent d'y parvenir sont décrites ci-après.

✓ Etape n°1 : Ouvrir l'onglet Options

Dans le vocable DEXi, les « Options » (ou les alternatives) qualifient les différentes entités évaluées et comparées dans un problème décisionnel. Dans le cadre d'une évaluation de la contribution des systèmes de culture au développement durable, le terme « options » désigne les différents systèmes de culture mis en évaluation. Dans DEXi, les options sont caractérisées par l'ensemble des valeurs qualitatives assignées à chaque critère basique de l'arborescence.

Cliquer sur l'onglet *Option*

! Liste des critères basiques de MASC 2.0

Option
Rentabilité
Indépendance économique
Efficacité économique
Surcoût en matériel
Qualité sanitaire
Qualité technologique et esthétique des produits
Contribution à l'émergence de nouvelles filières
Contribution à l'emploi

Attributes: 131 (59 basic, 23 linked, 49 aggregate) | Scales: 131 | Functions: 49 | Options: 0

✓ Etape n°2 : Insérer des options dans DEXi

1 Créer ou ajouter un champ correspondant à un système de culture à évaluer (option)

2 Définir un intitulé pour chaque système évalué

! Nombre de systèmes de culture implémentés

Option	Colza/ble/orge	Colza/Blé/orge/triticale
Rentabilité	*	*
Indépendance économique	*	*
Efficacité économique	*	*
Surcoût en matériel	*	*
Qualité sanitaire	*	*
Qualité technologique et esthétique des produits	*	*
Contribution à l'émergence de nouvelles filières	*	*
Contribution à l'emploi	*	*

Attributes: 131 (59 basic, 23 linked, 49 aggregate) | Scales: 131 | Functions: 49 | Options: 2

✓ **Étape n°3 : Implémenter les valeurs qualitatives obtenues pour chaque système de culture évalué**

Option	Colza/ble/orge	Colza/Blé/orge/triticale
Rentabilité	moyenne à élevée	*
Indépendance économique	faible à moyenne	*
Efficience économique	faible à moyenne	*
Surcout en matériel	faible	*
Qualité sanitaire	*	*
Qualité technologique et esthétique des produits	*	*
Contribution à l'émergence de nouvelles filières	*	*
Contribution à l'emploi	*	*

Décrire les systèmes de culture en affectant une à une les classes qualitatives obtenues pour chaque critère basique.

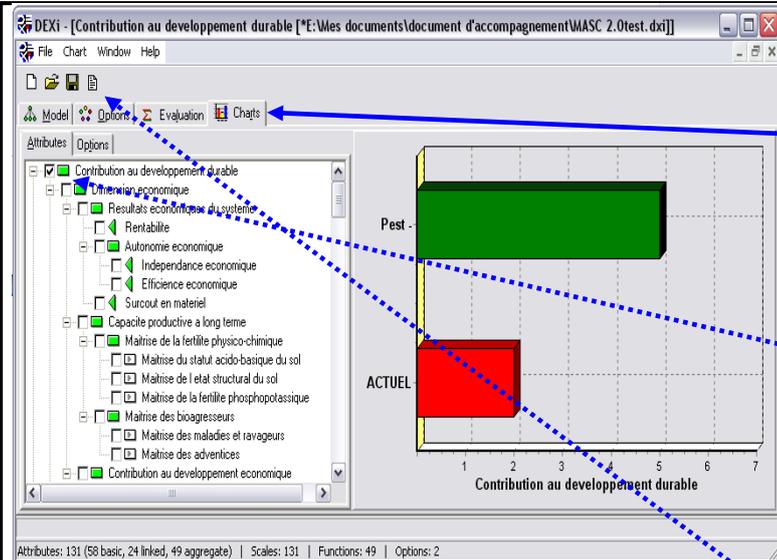
Le renseignement des classes qualitatives peut être effectué :

- soit avec la souris en sélectionnant dans un premier temps sur la ligne à renseigner et en cliquant ensuite sur la classe à affecter dans le menu déroulant indiqué ci-contre.
- soit avec le pavé numérique du clavier. DEXi attribue automatiquement les classes qualitatives du critère agrégé aux touches numériques.



Le renseignement des critères basiques peut aussi être réalisé en ouvrant la fenêtre DEXi associée à l'onglet « Evaluation ». Dans cet onglet, on retrouve sur la partie de gauche l'ensemble des critères de l'arborescence (critères agrégés et basiques). Il est alors possible d'observer en temps réel les résultats pris par les critères agrégés au fur et à mesure de l'implémentation des valeurs qualitatives prises par les critères basiques.

D- Réalisation de sorties graphiques avec DEXi



1 Cliquer sur l'onglet *Chart*.

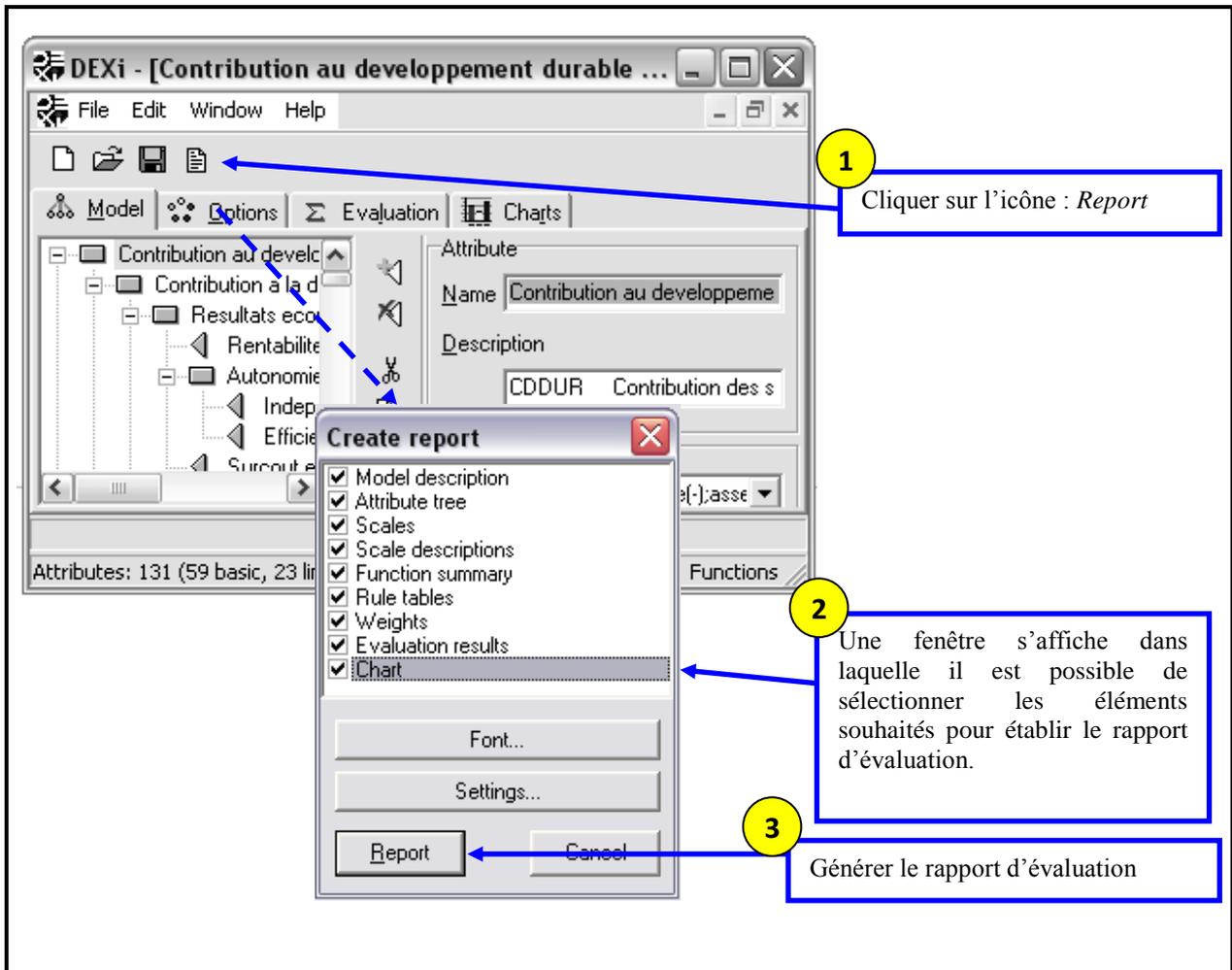
2 Cocher ensuite dans l'arborescence MASC :

- un critère pour créer un histogramme
- deux critères pour créer un diagramme
- plus de deux critères pour réaliser un graphique en radar.

3 Les graphiques peuvent être exportés soit en effectuant directement un « copier-coller » avec la souris en positionnant sur le graphique ou grâce à l'onglet *Report*.

E- Création d'un rapport d'évaluation

Le logiciel propose une fonctionnalité intitulée « *Report* » permettant de synthétiser et d'exporter facilement les différents éléments caractéristiques de l'évaluation réalisée.



F- Import/export d'une fonction d'utilité

✓ Exportation d'une fonction d'utilité

La démarche à suivre pour exporter une fonction d'utilité est présentée ci-après.

Remarque : DEXi dans sa version 3.03 ne permet d'exporter qu'une seule fonction d'utilité à la fois.

The image consists of three screenshots of the DEXi software interface, each with a numbered callout box explaining a step in the export process.

1 Dans l'onglet *Model* : Sélectionner le critère agrégé associé à la fonction d'utilité à exporter (par exemple : **Contribution au développement économique**)

2 Sélectionner dans le menu principal, l'onglet *File* puis *Export...* et enfin *Export function...*

3 DEXi ouvre ensuite une fenêtre d'enregistrement dans laquelle il faut spécifier le nom, le format et l'emplacement que vous souhaitez affecter au fichier à exporter.

✓ Importation d'une fonction d'utilité

La démarche à suivre pour importer une fonction d'utilité est présentée ci-après.

Remarque :

- DEXi dans sa version 3.03 ne permet d'importer qu'une seule fonction d'utilité à la fois.
- Pour que l'importation puisse être réalisée avec succès, il faut s'assurer que les caractéristiques de la fonction d'utilité importée correspondent aux caractéristiques de la fonction d'utilité à renseigner dans le fichier DEXi. A cet égard, il est nécessaire de vérifier que le nombre de critères à agréger et que les nombres de classes du critère agrégé et des critères à agréger soient adéquats.

The first screenshot shows the 'Model' tab in the DEXi software. The left-hand tree view is expanded to show the 'Contribution au développement durable' folder, with 'Contribution à la dimension économique' selected. A blue arrow points from this selection to a text box on the right.

The second screenshot shows the 'File' menu with 'Import...' selected, and the 'Import function...' option highlighted. A blue arrow points from this menu option to a text box on the right.

The third screenshot shows the 'Import function' dialog box. The 'Regarder dans' field is set to 'FU' and the file list contains 'FU Dimension économique.dat'. The 'Nom du fichier' field is filled with 'FU Dimension économique.dat'. A blue arrow points from this dialog box to a text box on the right.

Dans l'onglet *Model* : Sélectionner le critère agrégé correspondant au lieu d'insertion de la fonction d'utilité (par exemple : **Contribution au développement économique)**

Sélectionner dans le menu principal, l'onglet *File* puis *Import...* et enfin *Import function...*

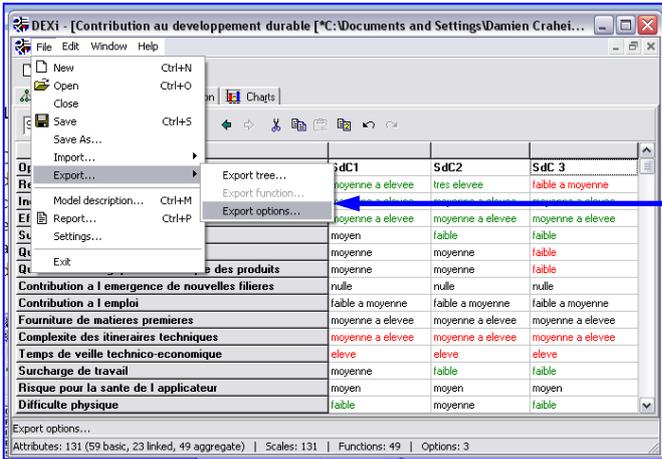
DEXi ouvre ensuite une fenêtre dans laquelle il faut rechercher et ouvrir le fichier visé contenant une fonction d'utilité à importer.

G- Import/export des options

Dans le vocable DEXi, les « *Options* » (ou les alternatives) qualifient les différentes entités évaluées et comparées dans un problème décisionnel. Dans le cadre d'une évaluation de la contribution des systèmes de culture au développement durable, le terme « *Options* » désigne les différents systèmes de culture mis en évaluation. Dans DEXi, les options sont caractérisées par l'ensemble des valeurs qualitatives assignées à chaque critère basique de l'arborescence. La démarche d'exportation (et d'importation) des valeurs qualitatives caractérisant les systèmes de culture est présentée ci-après.

Remarques :

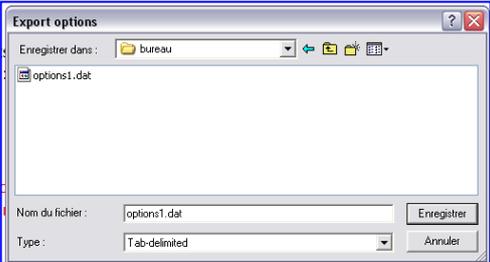
- seules les options qui sont « cochées » dans le sous-onglet options de l'onglet *Charts* seront exportées.
- les options existantes dans le fichier DEXi qui ont les mêmes noms que les options importées sont « écrasées » par les données importées. Sinon, les options importées seront insérées dans le modèle.



The screenshot shows the DEXi software window with the 'File' menu open and 'Export options...' selected. The main window displays a table with columns 'jdc1', 'Sdc2', and 'Sdc3' and rows of qualitative values. A blue arrow points from the 'Export options...' menu item to the 'Export options' dialog box below.

	jdc1	Sdc2	Sdc3
moienne a elevee	tres elevee	faible a moyenne	
moienne a elevee	moienne a elevee	moienne a elevee	
moien	faible	faible	
moienne	moienne	faible	
moienne	moienne	faible	
nulle	nulle	nulle	
faible a moyenne	faible a moyenne	faible a moyenne	
moienne a elevee	moienne a elevee	moienne a elevee	
moienne a elevee	moienne a elevee	moienne a elevee	
eleve	eleve	eleve	
moienne	faible	faible	
moyen	moyen	moyen	
faible physique	moienne	faible	

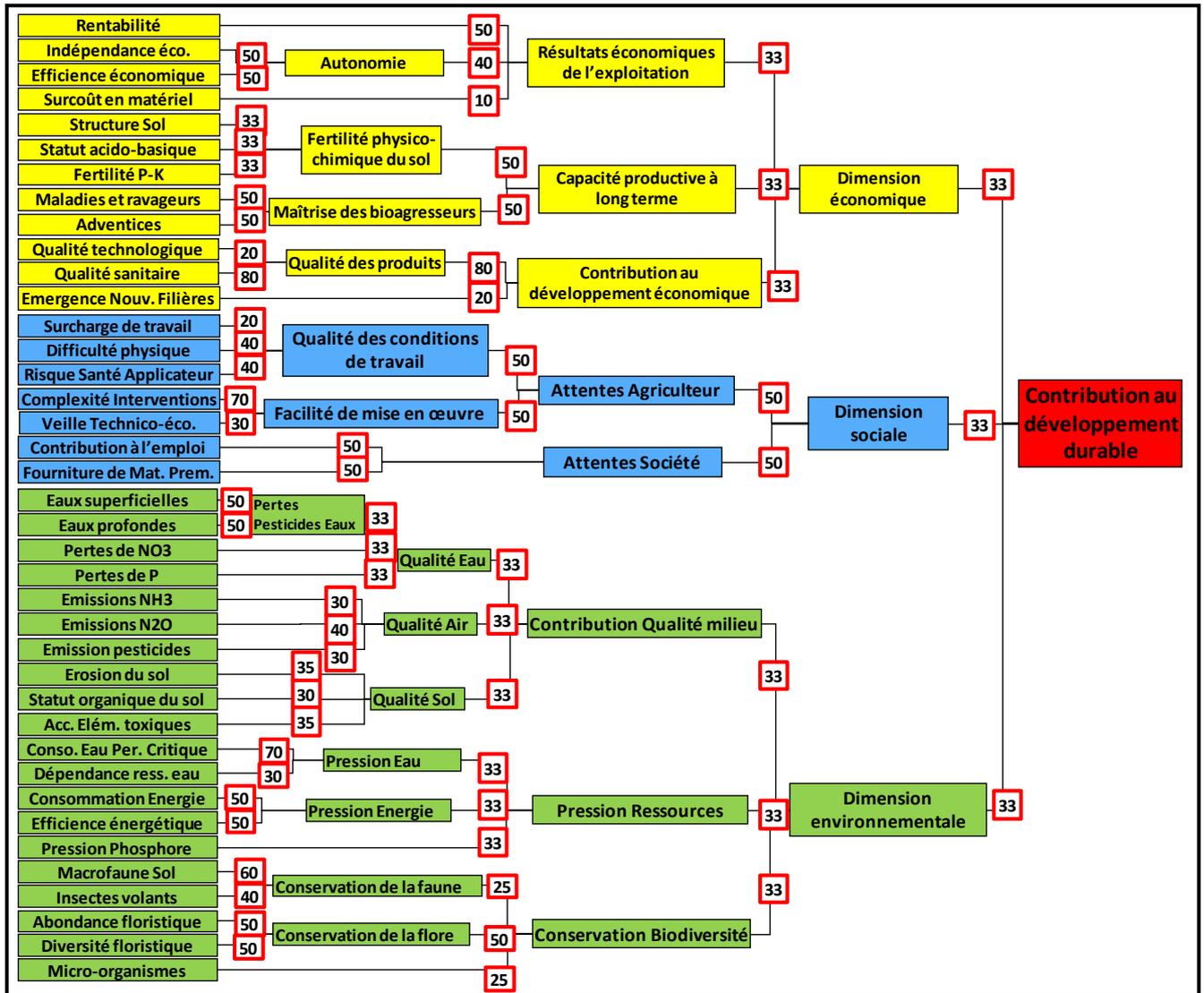
Selectionner dans le menu principal, l'onglet *File* puis *Export* (ou *Import* en fonction de l'objectif visé) puis *Export options* (ou *Import option*).



The 'Export options' dialog box shows the file name 'options1.dat' and the type 'Tab-delimited'. A blue arrow points from the dialog box to the explanatory text on the right.

DEXi ouvre ensuite une fenêtre *Export options* (ou *import option* en fonction de la requête) pour définir le fichier à exporter ou à importer.

III. Pondérations livrées par défaut dans MASC 2.0



IV. *Quelques données chiffrées pour faciliter l'évaluation des rendements en ex ante pour quelques cultures*

Plusieurs critères d'évaluation de MASC 2.0 nécessitent dans leur mode d'évaluation de connaître le rendement de chaque culture de la rotation (critères **Rentabilité, Efficience énergétique, Autonomie économique, Efficience économique, Maîtrise de la fertilité phospho-potassique et Fourniture de matières premières**). L'évaluation des rendements des cultures dans le cadre d'une évaluation a priori est souvent difficile en raison de l'absence de données disponibles. Pour pallier cette difficulté, ce document propose plusieurs données chiffrées sur lesquelles les utilisateurs pourront s'appuyer pour approcher les rendements attendus des diverses cultures des systèmes à évaluer. Ces valeurs sont tirées du rapport EcoPhyto R&D, 20098. Dans ce rapport, des valeurs de rendements sont proposées pour les principales cultures assolées selon les régions concernées et selon les grandes stratégies de production mises en œuvre. Quatre stratégies de production ont été définies par rapport à l'usage des pesticides, qui est vu ici comme un indicateur permettant d'appréhender le niveau d'intensification de l'itinéraire technique.

- **La conduite Intensive (Int.)** : Il n'y a pas de stratégie de réduction des pesticides et l'agriculteur se place dans une logique d'assurance. Les rendements proposés proviennent de la sous-population des 30% de parcelles ayant les pratiques les plus consommatrices de pesticides.
- **La conduite Raisonnée (Rais.)** : Chaque intervention est raisonnée sur la base d'observations et le déclenchement des traitements est effectué sur la base de seuils. Les valeurs chiffrées proposées proviennent des chambres d'agriculture et d'enregistrements du réseau FARRE9.
- **La conduite Protection intégrée (Prot Int.)** : La stratégie de production s'appuie sur une combinaison cohérente de méthodes non chimiques de lutte agronomique et de moyens chimiques afin de limiter le recours aux pesticides. Dans cette stratégie, ces méthodes sont appliquées dans le cadre d'un raisonnement annuel, à l'échelle de l'itinéraire technique.
- **La conduite Système intégré (Syst. Int.)** : Chaque culture de la succession est conduite selon les principes de la protection intégrée et le choix des termes de la succession fait partie de la panoplie de mesures prophylactiques. Les données chiffrées ont été définies par expertise locale et à partir de résultats d'expérimentation.

Les rendements sont exprimés en q/ha et sont présentés dans les tableaux à la page suivante.

⁸ Rapport Eco-phyto R&D (2009) disponible sur :

<http://www.inra.fr/content/download/21913/306243/version/1/file/Ecophyto_RD_tome_II_Grandes_Cultures.pdf>

⁹ Forum de l'Agriculture Raisonnée Respectueuse de l'Environnement

Régions	Blé tendre				Blé dur				Orge d'hiver				Orge de printemps			
	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.
Alsace	73.4	72	65	65	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Aquitaine	65.2	64	58	58	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Auvergne	65.2	64	58	58	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Basse-Normandie	81.4	81	73	73	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Bourgogne	81.4	81	73	73	/	/	/	/	71	70	64	64	62.6	62	56	56
Bretagne	72.8	71	65	65	/	/	/	/	71	70	64	64	62.6	62	56	56
Centre	72.8	71	65	65	57	55	50	51	71	70	64	64	62.6	62	56	56
Champagne-Ardenne	81.4	81	73	73	/	/	/	/	71	70	64	64	62.6	62	56	56
Franche-Comté	72.8	71	65	65	/	/	/	/	71	70	64	64	62.6	62	56	56
Haute-Normandie	81.4	81	73	73	/	/	/	/	78.3	78	71	71	72	70	64	64
Ile-de-France	81.4	81	73	73	/	/	/	/	71	70	/	/	62.6	62	56	56
Languedoc-Roussillon	65.2	64	58	58	45.3	44	40	41	/	/	/	/	/	/	/	/
Limousin	65.2	64	58	58	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Lorraine	73.4	72	65	65	/	/	/	/	71	70	64	64	62.6	62	56	56
Midi-Pyrénées	65.2	64	58	58	57	55	50	51	56	55	50	50	62.6	62	56	56
Nord-Pas-de-Calais	81.4	81	73	73	/	/	/	/	78.3	78	71	71	72	70	64	64
Pays de la Loire	72.8	71	65	65	57	55	50	51	/	/	/	/	/	/	/	/
Picardie	81.4	81	73	73	/	/	/	/	78.3	78	71	71	72	70	64	64
Poitou-Charentes	72.8	71	65	65	57	55	50	50	71	70	64	64	62.6	62	56	56
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	65.2	64	58	58	35.7	35	31.8	31.8	/	/	/	/	/	/	/	/
Rhône-Alpes	65.2	64	58	58	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

Régions	Maïs				Colza				Tournesol				Pois			
	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.
Alsace	96,7	96,7	90,9	87	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	/	/	/	/
Aquitaine	96,7	96,7	90,9	87	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	35	35	33	33
Auvergne	96,7	96,7	90,9	87	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	35	35	33	33
Basse-Normandie	83,3	83,3	78,3	75	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Bourgogne	96,7	96,7	90,9	87	31	29	26,3	25	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Bretagne	83,3	83,3	78,3	75	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Centre	96,7	96,7	56	87	31	29	26,3	25	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Champagne-Ardenne	83,3	83,3	78,3	75	31	29	26,3	25	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Franche-Comté	83,3	83,3	78,3	75	31	29	26,3	25	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Haute-Normandie	83,3	83,3	78,3	75	31	29	26,3	25	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Ile-de-France	96,7	96,7	90,9	87	31,3	29,3	26,6	25,3	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Languedoc-Roussillon	/	/	/	/	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	35	35	33	33
Limousin	/	/	/	/	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	35	35	33	33
Lorraine	83,3	83,3	78,3	75	31	29	26,3	75	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Midi-Pyrénées	96,7	96,7	90,9	87	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	35	35	33	33
Nord-Pas-de-Calais	83,3	83,3	78,3	75	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Pays de la Loire	/	/	/	/	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Picardie	83,3	83,3	78,3	75	31,3	29,3	26,6	25,3	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Poitou-Charentes	96,7	96,7	90,9	87	31	29	26,3	25	23,6	26,3	22,7	23,6	49	49	47	47
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	/	/	/	/	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	35	35	33	33
Rhône-Alpes	96,7	96,7	90,9	87	/	/	/	/	23,6	26,3	22,7	23,6	35	35	33	33

Régions	Pomme de terre				Betterave			
	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.	Int.	Rais.	Prot. Int.	Syst. Int.
Alsace	/	/	/	/	/	/	/	/
Aquitaine	/	/	/	/	/	/	/	/
Auvergne	/	/	/	/	/	/	/	/
Basse-Normandie	/	/	/	/	78.8	78.8	74	72
Bourgogne	/	/	/	/	78.8	78.8	74	/
Bretagne	42.6	40	47	34	/	/	/	/
Centre	42.6	40	47	34	/	/	/	/
Champagne-Ardenne	42.6	40	47	34	78.8	78.8	74	72
Franche-Comté	/	/	/	/	/	/	/	/
Haute-Normandie	42.6	40	47	34	78.8	78.8	74	72
Ile-de-France	/	/	/	/	78.8	78.8	74	/
Languedoc-Roussillon	/	/	/	/	/	/	/	/
Limousin	/	/	/	/	/	/	/	/
Lorraine	/	/	/	/	/	/	/	/
Midi-Pyrénées	/	/	/	/	/	/	/	/
Nord-Pas-de-Calais	42.6	40	47	34	78.8	78.8	74	72
Pays de la Loire	/	/	/	/	/	/	/	/
Picardie	42.6	40	47	34	78.8	78.8	74	72
Poitou-Charentes	/	/	/	/	/	/	/	/
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	/	/	/	/	/	/	/	/
Rhône-Alpes	/	/	/	/	/	/	/	/

Pour l'agriculture biologique, on ne dispose pas actuellement de données statistiques suffisantes pour chaque région. Une estimation des rendements est néanmoins proposée dans le rapport EcoPhyto R&D. Les rendements proposés ont été définis au niveau national à dire d'experts par des opérateurs de la filière et sont exprimés en % de productivité par rapport à une conduite raisonnée.

Cultures	Productivité de la conduite en bio par rapport à une conduite raisonnée
Blé tendre d'hiver	40 à 50%
Triticale	50%
Orge d'hiver	40%
Maïs (sec ou irrigué)	60 à 90%
Tournesol	60 à 100%
Colza	10% à 70%
Pois : rarement cultivé seul. (en mélange avec de l'orge de printemps)	10 à 70%
Féverole	60 à 70%
Soja	80 à 90%
Luzerne	90 à 100%

Les valeurs sont des données moyennes, généralisables France entière