CIHEAM

Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes

International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies

Thèse / *Thesis*

requise pour l'obtention du Titre

submitted for the Degree of

Master of Science

DEXiPM -vigne :
un outil d'évaluation multicritère
de stratégies phytosanitaires en viticulture

Nawel Aouadi

Série « Master of Science » n° 115

2011

Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier

CIHEAM
IAM MONTPELLIER

DEXiPM -vigne :
un outil d'évaluation multicritère
de stratégies phytosanitaires en viticulture

Nawel Aouadi

Série « Master of Science » n° 115

2011

DEXiPM -vigne : un outil d'évaluation multicritère de stratégies phytosanitaires en viticulture

Nawel Aouadi

Série « Master of Science » n° 115

2011

Série Thèses et Masters

Ce Master est le numéro 115 de la série *Master of Science* de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

Cette collection réunit les *Masters of Science* du CIHEAM–IAMM ayant obtenu la mention « Publications », ainsi que les travaux doctoraux réalisés dans le cadre des activités scientifiques et pédagogiques de l'Institut et de ses enseignants chercheurs.

Le *Master of Science* du Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes :
DEXiPM -vigne : un outil d'évaluation multicritère de stratégies phytosanitaires en viticulture

a été soutenu par **Nawel Aouadi** 16 décembre 2010 devant le jury suivant :

M. Pierre Campagne, enseignant-chercheur CIHEAM-IAMM, ...Président
Mme Anne Merot, chargée de recherche, INRA Montpellier.....Membre
M. Hatem Belhouchette, enseignant-chercheur CIHEAM-IAMM .....Membre
M. Christian Gary, directeur de recherche – INRA Montpellier.....Membre

Le travail de recherche a été encadré par M. Christian Gary

CIHEAM-IAMM
Institut agronomique Méditerranéen
de
Montpellier

Directeur : Vincent Dollé

3191 route de Mende – BP 5056
34093 Montpellier cedex 05
Tél. : 04 67 04 60 00
Fax : 04 67 54 25 27
http:/www.iamm.fr

L'institut Agronomique Méditerranéen
n'entend donner aucune approbation ni improbation
aux opinions émises dans cette thèse

ISBN : 2-85352-476-0 ; ISSN : 0989-473X

Numéros à commander au
CIHEAM- IAMM
Bureau des Publications
e-mail : tigoulet@iamm.fr
Prix : 50€
© CIHEAM, 2011

Fiche bibliographique : Nawel Aouadi – « DEXiPM -vigne : un outil d'évaluation multicritère de stratégies phytosanitaires en viticulture » - Montpellier : CIHEAM-IAMM. 92 p. (Master of Science - 2011 ; n°115).

Résumé : L'évaluation de la durabilité des systèmes de culture viticoles nécessite l'intégration du contexte environnemental, économique et social. Ce travail propose d'utiliser le modèle d'analyse multicritère DEXiPM pour analyser la durabilité d'exploitations viticoles.
L'arbre de décision hiérarchique du modèle a été construit en définissant l'ensemble des critères et indicateurs qualitatifs pour les différentes dimensions de durabilité ainsi que les classes et des fonctions d'utilité. Une démarche participative auprès des viticulteurs et d'experts a été adoptée pour paramétrer le modèle mais aussi pour le valider.
Le modèle DEXiPM-vigne, dans sa version actuelle, peut être utilisé évaluer la situation actuelle des exploitations et tester différentes alternatives pour réduire l'utilisation des produits phytosanitaires. Pour une utilisation plus large du modèle, notamment pour comparer des exploitations appartenant à des bassins viticoles différents, il est nécessaire de contextualiser par l'adaptation des seuils aux différents contextes.
Le modèle est aussi 'un tableau de bord' qui permet de synthétiser et structurer les différents critères de l'évaluation et de pouvoir décider à quel niveau agir pour atteindre les objectifs de réduction des intrants. C'est aussi un excellent moyen pour animer les discussions avec les viticulteurs et les acteurs locaux.

Mots clés : analyse multicritère, durabilité, systèmes de culture viticoles.

Abstract: *Vineyard cropping system evaluation is a complex multi-dimensional concept encompassing economic, social and environmental issues. This work proposes to evaluate the cropping system using DEXiPM, a hierarchical qualitative multi-criteria model. A tree of criteria and indicator is defined, as well as utility functions for aggregation rules. Farmers and experts participated on DEXiPM configuration and evaluation validity.*
DEXiPM- grapevine, as it is elaborated, can be used to evaluate present situation of farms but aloso alternative strategies to reduce pesticide use. The application of this model at a large scale requires to take into account the farming and territory context by defining other classes more adequate.
It will not only be used to estimate a final score for the assessed system, but also, as a « notice board » to show the value of all criteria and insure discussion with by farmers and local stakeholders.

Key words: *Multicriteria evaluation, sustainability, cropping systems, vineyard.*

Remerciement

Au terme de ce travail, je me fais un agréable devoir de remercier vivement Christian Gary pour son fructueux encadrement. Ses connaissances ainsi que ses précieuses recommandations m'ont permis de beaucoup apprendre et de mener à bien ce travail.

Je tiens aussi à exprimer ma reconnaissance à Céline Berthier, pour son importante contribution à l'orientation de ce travail, pour la relecture de mon rapport et surtout pour sa bonne humeur.

Je remercie également les viticulteurs M. Masson et M. Fis pour leur disponibilité et leur participation dans les différents exercices ainsi que les experts qu'on a sollicité notamment Patrick Andrieux, Christophe Gaviglio et Sandrine Tourrière.

Mes remerciements s'adressent aussi aux différentes équipes qui travaillent sur le logiciel DEXi notamment Christelle Aissa-Madani, Vincent Faloya, Gabriele Fortino, Elise Lo-Pelzer, Philippe Lucas, Antoine Messean, Mireille Navarette, Marc Tchamitchian, Nouraya Akkal, Frédérique Angevin.

Enfin, merci à tous les collègues pour la bonne ambiance qui règne dans cette unité.

Table des matières

Introduction 5

Chapitre I. Analyse bibliographique 7
I. Evaluation et analyse des systèmes de cultures agricoles 7
1. Notion de durabilité des systèmes de culture 7
2. Les méthodes d'analyse multicritère 7
A. Définition 7
B. Classification 8
C. Critères de sélection des méthodes d'analyse multicritère 9
II. DEXi comme modèle d'analyse et d'évaluation multicritère 10
1. Description du modèle 10
2. Exemples d'application du modèle DEXi 12
A. Evaluation des systèmes de cultures viticoles 12
B. Projet ENDURE : Evaluation des systèmes de grandes cultures 12
C. Le modèle MASC : Evaluation de systèmes innovants 14
III. Validation des méthodes d'analyse multicritère 14

Chapitre II. Problématique et objectifs 15

Chapitre III. Matériels et méthodes 17
I. Construction de l'arbre de décision de DEXiPM-vigne 17
1. Méthode adoptée pour le choix les critères 17
2. Définition du nombre de classes 17
3. Définition des fonctions d'utilité et des pondérations 17
II. Evaluation des systèmes viticoles 18
1. Présentation des exploitations viticoles 18
2. Utilisation du modèle pour l'évaluation de la durabilité des systèmes viticoles 19
III. Evaluation du modèle DEXiPM- vigne 19
1. Validation du modèle avec les viticulteurs 20
2. Validation du modèle avec l'expert 20

Chapitre IV. Résultats et discussions 21
I. Choix des critères, des indicateurs et des classes 21
1. Critères environnementaux 21
A. Utilisation des ressources 21
B. Impact sur les ressources 23
C. Conservation de la biodiversité 27
2. Critères économiques 31
A. La profitabilité 31
B. La viabilité 38
3. Critères sociaux 41
II. Fonction d'utilité et pondération 42
III. Application du modèle pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures viticoles 43
1. Evaluation des stratégies phytosanitaires actuelles 43
A. Evaluation de la durabilité de l'exploitation type 1 44
B. Evaluation exploitation type 2 45
2. Evaluation des stratégies alternatives économes en produits phytosanitaires 45
A. Evaluation de l'exploitation type 1 46
B. Evaluation de l'exploitation type 2 48
IV. Validation du modèle DEXiPM-vigne 51

1. Validation du modèle par l'utilisateur 51
2. Validation du modèle avec les viticulteurs 52
A. Validation du choix des classes 52
B. Validation des règles d'agrégation 54
C. Validation de l'évaluation du modèle 55
3. Validation du modèle par les experts 57

Chapitre V. Discussion 59
I. Construction du modèle 59
1. Choix des critères, des indicateurs 59
A. Critères et indicateurs environnementaux 59
B. Critères et indicateurs économiques 60
2. Choix des classes 61
3. Pondération et règles de décision 61
II. Validation du modèle avec les experts et les viticulteurs 62

Conclusion 63

Bibliographie 65

Annexes 68

Liste des tableaux

Tableau 1 : Découpage parcellaire des exploitations de type 1 et 2 selon les stratégies phytosanitaires et les objectifs de rendement 19
Tableau 2 : Valeurs de la variable « Potentiel de transfert sur le sol » en fonction de la distance de la parcelle à un point d'eau 24
Tableau 3 : Classes attribuées aux indicateurs environnementaux 29
Tableau 4 : Caractéristiques des principales espèces utilisées en enherbement 33
Tableau 5 : Poids des pratiques culturales sur l'indice de maîtrise de la vigueur végétative 34
Tableau 6 : Calcul de l'IMV pour les deux exploitations 35
Tableau 7 : Estimation des coûts annuels par hectare de la tonte et du semis au niveau des différentes modalités de l'enherbement 36
Tableau 8 : Indicateurs économiques et seuils attribués… 39
Tableau 9 : Fonctions d'utilité et pondération attribuée pour certains critères environnementaux et économiques 43
Tableau 10 : Validation des classes et des règles de décision pour l'agrégation des critères par le viticulteur de l'exploitation type 2 (critères de bases)…. 53
Tableau 11 : Validation des classes et des règles de décision pour l'agrégation des critères par le viticulteur de l'exploitation type 2 (critères agrégés de 3ème niveau) 54
Tableau 12 : Validation des classes et des règles de décision pour l'agrégation des critères par le viticulteur de l'exploitation type 2 (critères de bases) 56
Tableau 13 : Validation des classes et des règles de décision pour l'agrégation des critères par le viticulteur de l'exploitation type 2 (critères agrégés de 3ème niveau) 57

Liste des figures

Figure 1 : Schématisation des différents niveaux de l'arbre de décision.....11
Figure 2 : Fonction d'utilité (f) 11
Figure 3 : Arbre hiérarchique des critères environnementaux de DEXiPM-Vigne.....21
Figure 4 : Consommation annuelle en énergie en L de carburant/ha pour les différents outils 22
Figure 5 : Influence des pratiques culturales sur le ruissellement 24
Figure 6 : Influence des pratiques culturales sur l'érosion… 27
Figure 7 : Arbre hiérarchique des critères économiques de DEXiPM-Vigne 31
Figure 8 : Evolution de l'IFT (A) et du rendement (B) en fonction de l'indice de maîtrise de la vigueur..35
Figure 9 : Arbre hiérarchique des critères sociaux de DEXiPM-Vigne 41
Figure 10 : Résultat de l'évaluation de la situation actuelle de l'exploitation type 1.....44
Figure 11 : Résultat de l'évaluation de la situation actuelle de l'exploitation type 2.....45
Figure 12 : Evaluation de la durabilité totale, environnementale, économique et sociale pour les 3 stratégies alternatives pour l'exploitation type 1 47
Figure 13 : Impact des stratégies alternatives sur la consommation directe de l'énergie et sur les ressources pour l'exploitation type 1….....47
Figure 14 : Impact des stratégies alternatives sur les critères économiques pour l'exploitation type 1….48
Figure 15 : Impact des stratégies alternatives sur les critères sociaux pour l'exploitation type 1.....48
Figure 16 : Evaluation de la durabilité totale, environnementale, économique et sociale pour les 3 stratégies alternatives pour l'exploitation type 2 49
Figure 17 : Impact des stratégies alternatives sur la consommation directe de l'énergie et sur les ressources pour l'exploitation type 2.....49
Figure 18 : Impact des stratégies alternatives sur les critères économiques pour l'exploitation type 2.....50
Figure 19 : Impact des stratégies alternatives sur les critères sociaux pour l'exploitation type 2..... 50

Introduction générale

La viticulture est le secteur agricole le plus important en France, considérée en 2009, comme le 1er producteur mondial avec 48 millions d'hectolitres. La production viticole représente en outre 14% de la valeur de la production agricole française, ce qui la place au deuxième rang des productions nationales après les céréales (Sénat, 2002).

Néanmoins, malgré le poids de cette filière, ce secteur est confronté actuellement à une crise sur le plan économique et environnemental. En effet, devant la surproduction et la concurrence internationale, la diminution de la consommation sur le marché national et la chute des prix, la viabilité de nombreuses exploitations et caves coopératives est menacée. Vient s'ajouter au contexte économique incertain, une prise de conscience récente des enjeux environnementaux. La viticulture est une culture très consommatrice de pesticides, 20 % de la consommation (en masse) pourrait lui être imputée alors qu'elle ne représente que 3,7 % de la SAU française (Agreste, 2007). Bien que ces traitements permettent d'avoir de bons rendements avec une qualité satisfaisante, les conséquences sur l'environnement et la santé humaine sont à redouter. Les nombreux traitements que nécessite cette culture tout au long de la saison exposent les viticulteurs et leurs salariés aux dangers inhérents à l'utilisation des pesticides. L'utilisation de produits phytosanitaires est par ailleurs susceptible d'entraîner la présence de résidus dans les denrées alimentaires sans oublier la contamination des sols et des eaux de surfaces et souterraines (Ministère de l'agriculture et de la pêche, 2005).

Face à ces enjeux, le développement d'une viticulture raisonnée et durable s'est imposé avec l'orientation vers des pratiques culturales respectueuses de l'environnement telles que l'enherbement, la réduction des doses de traitement, la lutte intégrée et la lutte biologique.

Cependant, la durabilité des systèmes de culture est un concept plus large qui prend en compte, outre les aspects environnementaux, des aspects économiques et sociaux et fait intervenir plusieurs acteurs (décideurs, agriculteurs, consommateurs...). Ceci rend l'évaluation des systèmes de culture très complexe étant donné que chaque acteur considère la durabilité de son point de vue suivant ses intérêts et établit des priorités qui ne sont pas forcément partagées. Il est donc difficile de définir un système à la fois économiquement viable, respectueux de l'environnement et socialement satisfaisant, d'où la nécessité de développer une méthode pour évaluer les systèmes de culture et juger de leur durabilité. Dans ce contexte, les outils d'analyse et d'évaluation multicritère semblent être le meilleur moyen de traiter la durabilité. En effet, plusieurs études se sont appuyées sur ces modèles mixtes dans le but d'évaluer la durabilité des systèmes de culture dans toutes leurs dimensions (Munda *et al.*, 1995 ; Sadok *et al.*,2008 ; Sadok *et al.*, 2009).

C’est dans ce contexte général que s’insère notre étude, l’objectif est de construire un modèle multicritère et qualitatif capable de renseigner sur la durabilité d’exploitations viticoles de la région de l’Hérault ayant adopté différentes stratégies phytosanitaires.

Chapitre I. Analyse bibliographique

I. Evaluation et analyse des systèmes de cultures agricoles

1. Notion de durabilité des systèmes de culture

Selon Sebilotte (1990), un système de culture est un ensemble de pratiques appliquées sur une surface agricole uniforme qui peut être une parcelle, une partie d'une parcelle ou bien un ensemble de parcelles. Un système agricole peut être composé de plusieurs systèmes de cultures (Sadok *et al.*, 2008).

En théorie, les principes fondamentaux de la durabilité sont les suivants (Wiren-Lehr, 2001) :

- approche multi dimensionnelle considérant les aspects écologiques, économiques et sociaux de façon équivalente ;
- classement de la durabilité en se basant sur une échelle spatiale et temporelle adéquate ;
- le consensus de prise de décision prend en considération essentiellement les aspects environnementaux de la durabilité.

Cependant, ces principes soulèvent la question de la capacité du secteur agricole à intégrer tous ces paramètres de la durabilité avec les méthodes et les connaissances scientifiques existantes. L'évaluation de la durabilité doit intégrer à la fois des données quantitatives (ex. mesures expérimentales) et des paramètres normatifs qualitatifs qui dépendent des conditions sociopolitiques (ex. décision politiques, choix de l'agriculteur, protection de l'environnement) (Wiren-Lehr, 2001).

Analyser l'agriculture avec cette grille de la durabilité implique ainsi une évaluation multicritère. Les systèmes de culture, éléments importants de l'activité agricole, doivent pouvoir être analysés et classés selon ce cadre général : les systèmes pratiqués actuellement comme les systèmes imaginés. Une évaluation a priori permettrait de choisir ou de trier ces derniers avant une mise en œuvre opérationnelle de tels systèmes de culture (Sadok *et al.*, 2008).

2. Les méthodes d'analyse multicritère

A. Définition

L'analyse multicritère est un domaine de recherche dont le but est de développer des méthodes et des outils d'aide à la décision particulièrement quand il s'agit de choisir, classer et trier un nombre d'options (alternative, solution…) en présence de multiples critères qui peuvent être contradictoires. Les méthodes d'analyse multicritère peuvent être considérées comme un processus non linéaire qui comporte quatre

étapes principales : structuration du problème de décision, articulation et modélisation des préférences, agrégation des préférences, faire des recommandations (Zanakis *et al*. 1998).

D'après (Roy, 1985) « L'aide à la décision est l'activité de celui qui, prenant appui sur des modèles clairement explicités mais non nécessairement complètement formalisés, aide à obtenir des éléments de réponses aux questions que se pose un intervenant dans le processus de décision, éléments concourant à éclairer la décision et normalement à prescrire ou simplement à favoriser un comportement de nature à accroître la cohérence entre l'évolution du processus d'une part, les objectifs et le système de valeurs au service desquels cet intervenant se trouve placé d'autre part. ».

B. Classification

On peut distinguer deux types de méthodes d'analyse multicritère (Sadok *et al.*, 2007) :

- les méthodes multi objectifs utilisées quand on est en présence d'un très grand nombre d'alternatives. Elles sont basées sur des modèles mathématiques multi objectifs dans lequel un certain nombre d'objectifs conflictuels est optimisé et confronté à un nombre de contraintes mathématiques définies afin de sélectionner la meilleure alternative.

- les méthodes multi attributs sont utilisées dans le cas d'un nombre limité d'alternatives caractérisées par de multiples critères. Cette méthode repose sur l'agrégation de chaque critère et le classement des alternatives en fonction des règles d'agrégation.

Selon les mêmes auteurs, il existe une taxonomie très variable des méthodes d'analyse multicritère basée sur plusieurs critères :

- le nombre d'alternatives considérées : distribution continue ou discrète des alternatives ;
- la nature des critères : quantitative ou qualitative et le niveau d'incertitude ;
- les méthodes utilisées pour construire le modèle : décision mathématique, une approche d'analyse….
- le mode d'agrégation des critères : complète, partielle ou locale ;
- le degré de compensation entre les critères ;
- la nature de la décision à prendre : descriptive, constructive ou normative.

La majorité d'entre elles se situe dans l'une de ces trois catégories : les méthodes d'utilité multi attributs, les méthodes de classement et les méthodes mixtes.

- **Les méthodes d'utilité multi attributs** sont définies par trois étapes : la normalisation et l'évaluation de la performance de chaque alternative en termes d'utilité, la détermination du poids statistique représentant les priorités du décideur pour chaque critère et l'agrégation et le classement des différentes alternatives.

- **Les méthodes de classement** sont basées sur des théories de choix social. L'objectif est de définir des relations binaires en comparant chaque paire d'options considérées. Tout d'abord, les décideurs fournissent des informations concernant leurs préférences pour chaque critère individuel en terme d'indifférence ou de préférence. Des relations binaires partielles sont ensuite calculées pour tous les critères en tenant en considération la préférence inter-critère exprimée en terme d'importance. Cette importance ne présente pas un compromis entre les scores des critères étant donné qu'elle est utilisée pour combiner des relations de préférence et non des scores d'alternatives.

- **Les méthodes mixtes** ou non classiques sont capables d'intégrer des critères quantitatifs et qualitatifs avec un modèle de préférences qui diffère de ceux classiquement utilisées dans les deux méthodes précédentes. Un premier groupe de méthodes d'analyse multicritère mixtes consiste en une approche de classement qui intègre des infirmations qualitatives ou mixtes. Exemples de variantes : REGIME ; QUALIFLEX ; ORESTRE ; EVAMIX ; MELCHIOR ; ARGUS. Un deuxième groupe consiste en des approches basées sur des règles de décision, qui se réfèrent souvent à des systèmes d'expert. Ces méthodes ont été initialement développées pour le classement des situations complexes qui ne peut pas être réalisé à travers des modèles de préférences. Le modèle de préférence peut être construit à partir d'exemples. La préférence globale est définie en classant les objectifs de l'analyse en catégories prédéfinies à travers des tests logiques de type « si/alors » organisés souvent sous forme d'arbres ou de table de décision.

C. Critères de sélection des méthodes d'analyse multicritère

Sadok *et al.* (2008) se basent sur les recommandations de Munda *et al.* (1994,1995) pour identifier deux types de critères permettant de désigner les méthodes d'analyse multicritère les plus pertinentes : la capacité de ces méthodes à manipuler le caractère multidimensionnel du classement de la durabilité ainsi que leur capacité à traiter des niveaux mixtes de mesure des critères. Ces méthodes doivent donc avoir les priorités suivantes :

- absence de besoin pour des mesures communes pour agréger plusieurs dimensions de l'évaluation. La méthode doit pouvoir intégrer des critères dont les unités sont différentes.
- pas de compensation entre les dimensions : un avantage dans l'une des dimensions de l'évaluation n'est pas totalement compensé par un inconvénient. Selon Delmotte (2008), il est nécessaire dans certains cas d'avoir recours à des vetos pour l'agrégation de deux dimensions. En effet, si un système est satisfaisant en terme économique mais mauvais pour l'environnement, il est possible de juger qu'il soit mauvais en mettant un veto sur les systèmes dont l'impact est négatif en terme environnemental.
- pas de comparabilité entre les dimensions : la méthode n'offre pas un unique terme de comparaison qui peut classer les alternatives.

II. DEXi comme modèle d'analyse et d'évaluation multicritère

1. Description du modèle

DEXi est un logiciel d'analyse et d'évaluation dont l'objectif est de prendre des décisions qualitatives multi attributs. Ce type de logiciel est très utile quand on a besoin de sélectionner une option bien déterminée parmi plusieurs autres pour satisfaire les besoins du décideur. Le modèle multi attributs est une structure hiérarchique qui décompose le problème en plusieurs sous problèmes moins complexes et plus faciles à résoudre.

DEXi diffère des autres logiciels multi attributs par le fait qu'il utilise des attributs qualitatifs symboliques au lieu des attributs quantitatifs numériques. La valeur de ces variables est souvent définie par des termes plutôt que des nombres tels que 'faible', 'approprié', 'inacceptable'. De plus, les fonctions d'utilité dans DEXi sont définies à l'aide de règles de décision du type 'Si…Alors' (Bohanec, 2008).

L'autre particularité de DEXi est sa capacité de traiter des données sur des options qui ne sont pas précises, incertaines ou même manquantes. Dans ces cas-là, DEXi représente les options par la distribution de valeurs qualitatives et les évalue par des méthodes basées sur la propagation probabiliste et floue de l'incertitude (Bohanec et Rajkovic, 1999).

Afin de développer ces modèles, il faut définir :

- **des critères** qui sont des variables qualitatives agencées sous forme d'arbre représentant la décomposition en sous problèmes plus simples. Selon Sadok (2006a), l'identification des critères est une étape très importante puisqu'elle influence directement la qualité de l'évaluation. L'absence d'un critère peut donc être préjudiciable alors qu'un nombre très important rend la mise en œuvre de l'évaluation plus complexe et le risque de redondance des critères plus grand. Les critères sont généralement identifiés par les acteurs de la décision dans un processus participatif.

- **des indicateurs** de l'état du système sont calculés et affectés à chaque critère. Les indicateurs sont des variables qui fournissent des renseignements sur d'autres variables plus difficiles d'accès. Ils servent aussi comme repère pour prendre une décision. Ils correspondent à une vision synthétique du système et aident à simplifier l'information. Selon Sadok (2006a), les indicateurs doivent avoir la capacité de traduire les variations spatiales et temporelles des éléments clés du système de manière qualitative et quantitative. Ils doivent aussi avoir les propriétés suivantes : faciles à mettre en œuvre et compréhensibles, sensible aux variations au niveau du système, reflétant la réalité du terrain et surtout pertinents (Girardin *et al.*, 2005).

- **des classes** sont définies à partir des indicateurs moyennant des seuils. Ces derniers permettent donc de convertir les valeurs quantitatives ou qualitatives des indicateurs en classes qualitatives (Sadok, 2006a).

- **des poids** permettant d'évaluer l'importance de chaque critère. Les critères sont agrégés en attributs puis en dimensions. Des fonctions d'utilité du type « Si…alors » sont définies afin d'assurer l'agrégation du bas vers le haut de l'arbre et donner une évaluation globale du système. Elles offrent aussi un meilleur aperçu sur la relation de cause à effet qui existe entre les paramètres du problème et le résultat obtenu.

La schématisation de l'arbre de décision de DEXi est illustrée dans la figure 1.

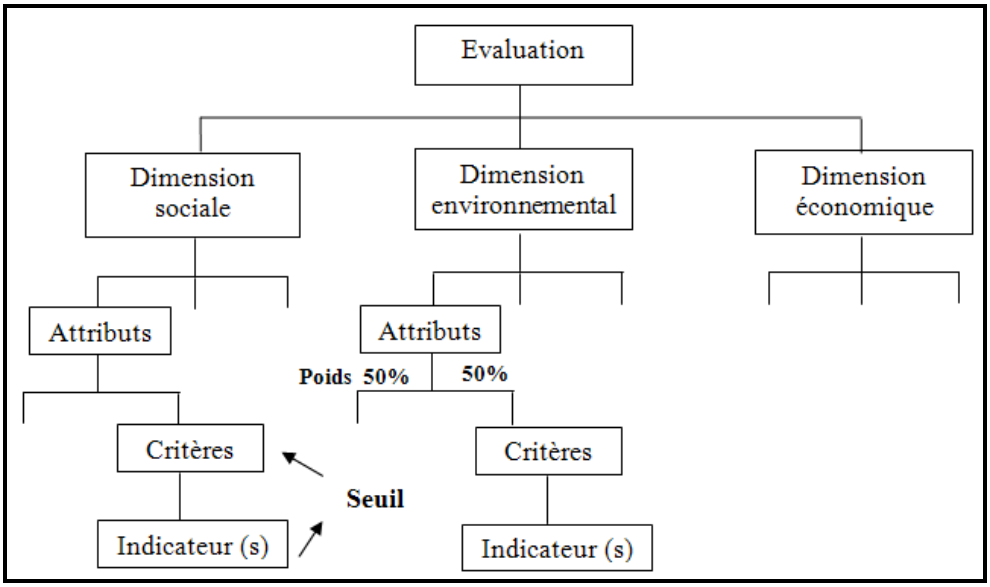


Figure 1. Schématisation des différents niveaux de l'arbre de décision (Delmotte, 2008)

▪ **Agrégation des critères** selon des fonctions d'utilité, f ou règles de décision du type « si – alors » (figure 2). A chaque niveau d'agrégation, il y a un jeu de règles qui fixent la valeur de l'indicateur ou de l'attribut en fonction des valeurs (classes) de ses descendants immédiats. La Fonction d'utilité, f, est une composante essentielle du modèle multi-attributs ; elle définit l'aspect agrégation durant la phase d'évaluation (Salle, 2007).

Pour chaque attribut agrégé Y dont les descendant directs dans l'arbre sont X1, X2,…, Xn ; la fonction d'utilité f définit alors cette configuration :

$$f: X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_n \rightarrow Y \qquad \textbf{(Équation 1)}$$

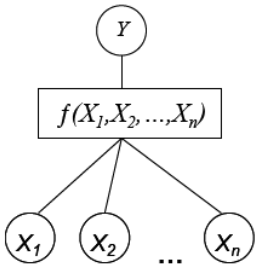


Figure 2. Fonction d'utilité (f) (Salle, 2007)

Cette agrégation des variables d'entrée, des indicateurs et des attributs de la base au sommet est définie par des règles ou fonction d'utilité. Ces lois sont du type « si – alors » :

Si X1 = valeur 1 et X2 = valeur 2 et … et Xn = valeur n alors Y = valeur (ou intervalle)

(Équation 2)

L'agrégation est de type décisionnel. Le premier niveau correspond aux indicateurs simples, qui à leur tour s'agrègent en indicateurs intermédiaires puis en indicateurs composites, qui à leur tour caractérisent les critères de diagnostic de chaque attribut. L'attribut obtenu par agrégation d'indicateurs donne une approche résumée ou simplifiée de systèmes complexes.

Un tutorial de DEXi proposé par Sadok (2006b) est disponible en annexe I.

Le logiciel DEXi a été utilisé avec succès dans une cinquantaine de cas réels notamment dans les domaines de la médecine, de la santé, de l'industrie et plus récemment de l'agriculture (Bohanec et Rajkovic, 1999).

2. Exemples d'application du modèle DEXi

A. Evaluation des systèmes de cultures viticoles

Le modèle DEXi a été utilisé afin d'évaluer et comparer la durabilité de différents systèmes de cultures à l'échelle de la parcelle et la contribution des systèmes de cultures viticoles méditerranéens au développement durable (Delmotte, 2008).

Ce travail a permis l'identification de critères suivant les trois dimensions de la durabilité : les impacts environnementaux, la viabilité économique et la viabilité socio-humaine, estimés à l'aide d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs qui permettent d'évaluer les pratiques d'entretien du sol et de protection phytosanitaire de la vigne. Les arbres de décision correspondant à chaque dimension sont illustrés dans l'Annexe IIA.

Néanmoins la question de contextualisation de l'évaluation n'a pas été traitée ; en effet, il est important de prendre en compte les contraintes dues au contexte de l'exploitation et du territoire et aussi d'impliquer les viticulteurs dans le processus de l'évaluation.

B. Projet ENDURE : évaluation des systèmes de grandes cultures

DEXiPM est un modèle pour l'évaluation ex ante, qualitative et multicritère de la durabilité des systèmes de culture proposé dans le cadre du réseau ENDURE : "*European Network for the Durable Exploitation of Crop Protection Strategies" (*2007-2010). ENDURE a pour objectifs d'évaluer les systèmes de culture actuels et de proposer des stratégies de protection des cultures qui limitent l'utilisation des pesticides. DEXiPM permettra donc de sélectionner a priori des systèmes qui pourront être testés au champ et d'identifier les conditions facilitant l'adoption de stratégies spécifiques.

Il existe deux types de données pour le modèle DEXiPM, ceux qui sont relatifs au contexte du système de culture et qui influencent le résultat de l'évaluation (climat, sol, politiques, marché…), certains de ces

paramètres ne dépendent pas du système (sol et climat) tandis que d'autres en dépendent (équipements agricoles..). D'autres données sont relatives au système de culture lui-même et regroupent toutes les techniques qui décrivent l'itinéraire technique (fertilisation, traitements phytosanitaires…).

Le contexte de l'évaluation est très important et doit être pris en considération non seulement avec les données mais aussi en adaptant les fonctions d'utilité ou bien les classes qualitatives de certains critères (rendement, marge brute…).

Les deux groupes de données ont la même importance et permettent deux utilisations de DEXiPM (Lô-Pelzer, 2009) :

- Il est possible de comparer dans un contexte donné plusieurs systèmes de culture (ou stratégies de protection). Les données relatives au contexte doivent alors être fixées. DEXiPM est utilisé comme 'un tableau de bord' pour mettre en évidence les impacts et les différences entre systèmes et non de comparer les résultats finaux de chaque système. Par exemple, l'introduction d'un cultivar résistant à une maladie aérienne dans un système de culture aura un impact sur le prix de la semence donc un autre critère économique. Il y aura aussi un impact sur la quantité de pesticides employée et par conséquent un impact sur plusieurs critères de la durabilité environnementale, économique et sociale.

A cause de la subjectivité de certains critères, la description des systèmes à comparer doit être réalisée par le même groupe et les choix réalisés doivent être explicitement décrits afin de rendre l'évaluation transparente. Le choix des seuils des classes qualitatives des critères aura un impact sur la discrimination entre les systèmes évalués. Par exemple, un large nombre de critères ne va pas discriminer deux systèmes de culture dont l'un comporte un cultivar résistant, cependant le choix de classes plus adaptées permet de mettre en évidence la différence entre les deux systèmes de culture. Cette discrimination dépend à la fois des classes qualitatives et des poids attribués aux critères.

- Une autre utilisation de DEXiPM, essentiellement pour les systèmes de cultures innovants, est l'évaluation des effets de changements du contexte (taxes, régulation, subventions...) qui peuvent rendre ce type de système plus ou moins performant.
- DEXiPM est un outil d'analyse qui certes ne peut pas intégrer toutes les interactions dans un système complexe mais qui a pour objectif de traiter les effets majeurs des stratégies de protection des plantes sous différents contextes (Lô-Pelzer, 2009).
- Plusieurs critères ont été proposés dans le projet ENDURE et ont été comparés avec ceux pris en considération dans MASC, une configuration de DEXi spécifique des systèmes de culture innovants (Sadok *et al.* 2009), afin de proposer un arbre de décision pour DEXiPM pour la durabilité économique, environnementale et sociale (Annexe II B). Chaque arbre prend en considération les critères liés au contexte et ceux liés au système. Pour l'agrégation des critères, des fonctions d'utilité sont adoptées. Certaines sont fixes tandis que d'autres dépendent des choix

de l'utilisateur, de ses priorités ou du contexte. Le plus important est de décrire explicitement le choix des pondérations dans les fonctions d'utilité ; elles peuvent être fixes ou adaptables avec des seuils ou des règles.

C. Le modèle MASC : évaluation de systèmes innovants

MASC est un modèle qui se base sur la méthodologie DEX, il se base sur un arbre de décision qui subdivise le problème de l'évaluation de la durabilité en plusieurs unités simples qui envisagent toutes les dimensions de la durabilité (économique, environnemental et social), générant ainsi un vecteur de 32 critères holistiques et mixtes (quantitatifs et qualitatifs). Le processus d'évaluation implique le calcul de ses critères et leur conversion en information qualitative qui va être entrée dans le modèle. Leur agrégation est réalisée à travers des fonctions d'utilité du type « Si…alors » (Sadok *et al.*, 2009). L'arbre d'agrégation des critères est illustré par l'Annexe II C.

L'une des caractéristiques les plus importantes de MASC, c'est qu'il fonctionne spécifiquement à l'échelle de la parcelle. L'utilisation de cette échelle permet d'isoler l'effet total de la performance socioéconomique et environnementale des différentes activités du système de culture et de prendre en considération l'interaction entre les cultures individuelles de manière explicite. De plus, ce modèle formule explicitement un concept global de durabilité encapsulé dans un vecteur de 32 critères (Sadok *et al.*, 2009).

III. Validation des méthodes d'analyse multicritère

Selon Qureshi (1999), la procédure d'évaluation et de validation est très importante pour établir la crédibilité et la pertinence du modèle. Il propose de suivre trois étapes :

- étape de vérification consistant à vérifier que le modèle a été développé de manière formellement correcte et en accord avec la méthodologie spécifiée. Le modèle doit donc produire des résultats cohérents.
- étape de validation qui consiste à étudier le niveau de prédiction, la validité conceptuelle et la validité opérationnelle du modèle. Pour valider DEXi-Vigne, Delmotte (2008) s'est assuré dans un premier temps que le modèle d'agrégation de l'information fournissait des résultats cohérents avec les données fournies en entrées. DEXi a été paramétré sans les critères ajoutés pour contextualiser l'évaluation. Le classement final ainsi que les classements pour les trois dimensions de l'évaluation ont ensuite été analysés. Etant donné qu'il n'est pas possible de comparer les sorties du modèle à des observations, les classements du modèle ne peuvent être validés que par des experts.
- étape d'analyse de sensibilité qui permet de connaître la stabilité du modèle. Bohanec *et al*. (2007) ont réalisé une analyse de sensibilité d'un modèle d'évaluation en déterminant quel changement de classe des dimensions était nécessaire pour augmenter ou diminuer la note de l'évaluation globale.

Chapitre II. Problématique et objectifs

Ce travail s'insère dans une perspective globale de réduction de l'usage des produits phytosanitaires par l'agriculture en France, objectif d'ailleurs fixé par plusieurs projets dont *ECOPHYTO R&D*. La viticulture étant un grand consommateur de pesticides, elle est largement concernée et doit contribuer au développement durable des systèmes de culture et ceci en adoptant des pratiques culturales à la fois efficaces, propres et rentables.

Cette étude vise donc à mettre en place un outil d'évaluation multicritère capable d'intégrer les trois dimensions de durabilité environnementale, économique et sociale et de tester et comparer des stratégies phytosanitaires économes en pesticides.

Le logiciel qu'on a adopté est DEXi. Ce dernier a déjà servi dans plusieurs études semblables, notamment pour évaluer la durabilité des systèmes de culture viticoles (Delmotte, 2008). Il a aussi été utilisé dans le cadre du projet ENDURE pour évaluer la durabilité des systèmes des systèmes de grandes cultures. Il existe également des travaux pour élaborer un DEXi-Légume.

DEXiPM-Vigne doit répondre aux attentes des différents acteurs impliqués : chercheurs, viticulteurs, conseillés agricoles, décideurs… selon bien évidement des objectifs d'utilisation (tableau de bord, outil pour animer des discussions, outil d'aide à la décision, un outil révélateur de préférences). Il doit aussi être le plus générique possible afin de tenir compte du contexte particulier des différents systèmes de cultures d'où la nécessité de contextualité l'évaluation.

De plus, il est envisageable de proposer DEXiPM-Vigne dans le cadre du projet CepViti dont l'objectif est d'élaborer un guide pratique pour accompagner les viticulteurs dans leur démarche de réduction des pesticides. C'est d'ailleurs en collaboration avec l'ingénieur chargé de ce programme que le modèle a été conçu.

D'autres objectifs plus spécifiques sont fixés et se résument en deux volets. Le premier concerne la construction du modèle. Il s'agit de définir les différents attributs et critères au niveau des trois dimensions de la durabilité. Ensuite, fixer les indicateurs qui pourraient être qualitatifs ou bien quantitatifs et qui vont renseigner les critères choisis. Enfin, il est nécessaire de fixer des classes au niveau de chaque indicateur. Ceci permet de convertir ceux qui sont quantitatifs. Autre élément important au niveau de la configuration du modèle est l'agrégation des critères à travers la détermination des fonctions d'utilité et l'attribution des poids.

Le deuxième volet est la mise en œuvre du modèle. Il s'agit dans un premier temps, d'utiliser DEXiPM-Vigne pour évaluer la durabilité de systèmes viticoles actuels. Dans un deuxième temps, il est question de proposer des pratiques culturales alternatives pour réduire le recours aux pesticides et tester avec le

modèle l'évolution de la durabilité des systèmes viticoles avec les nouvelles stratégies. Il s'agit ensuite de valider le modèle en adoptant une méthode participative avec les viticulteurs concernés par l'évaluation ainsi que des experts.

Chapitre III. Matériels et méthodes

I. Construction de l'arbre de décision de DEXiPM-vigne

1. Méthode adoptée pour le choix des critères

La méthode de travail adoptée est de reprendre l'arbre de décision de DEXiPM élaboré dans le cadre du projet ENDURE et de l'adapter aux systèmes de cultures viticoles en éteignant certaines branches de l'arbre non pertinentes et en ajoutant d'autres indicateurs pertinents. L'objectif est d'obtenir un arbre simple mais complet prenant en compte les trois dimensions de la durabilité.

2. Définition du nombre de classes

Selon le manuel d'utilisation de DEXi (Lô-Pelzer *et al.*, 2007), le nombre de classes doit être croissant en montant dans l'arborescence pour faciliter l'agrégation. Il est également préférable que le nombre de classes de deux critères qui sont au même niveau hiérarchique soit identique pour éviter des biais dans l'agrégation.

Dans notre cas, le nombre de classes pour tous les critères de l'évaluation a été initialement fixé à trois (faible, moyen, élevé). On a également choisi de ne pas agréger plus de 4 critères ensemble car cela entraînerait un nombre important de règles de décision à remplir et à vérifier. En effet, pour trois indicateurs agrégés avec trois classes chacun, il y a 27 règles à remplir tandis que ce nombre s'élève à 243 pour 5 critères agrégés.

Dans le but d'améliorer la sensibilité du modèle, une configuration de l'arbre de décision à quatre classes pour les critères agrégés et cinq pour les trois dimensions de la durabilité sera testée.

3. Définition des fonctions d'utilité et des pondérations

Le logiciel DEXi permet d'adopter deux méthodes pour l'agrégation des critères. La première est de remplir les règles de décision une à une et de retenir ensuite les poids proposés par le logiciel. Cette méthode permet de tester la fiabilité du modèle. En effet, si les poids correspondent aux attentes des experts, les règles de décisions seront validées.

L'alternative est de fixer le poids de chaque critère dans l'évaluation et ceci en se basant soit sur des références bibliographiques, par exemple pour la consommation d'énergie avec les travaux de Gaviglio *et al*. (2010), ou bien sur les dires d'experts comme dans le cas de la contribution de l'enherbement au ruissellement et à la fertilité du sol pour lequel on s'est basé sur un entretien effectué avec Patrick Andrieux (UMR Lisah). Une fois les pondérations fixées, le modèle remplit les règles de décision correspondantes. Il est ensuite important de les vérifier une à une afin de les valider.

II. Evaluation des systèmes viticoles

1. Présentation des exploitations viticoles

Une enquête a été réalisée début 2010 par des élèves ingénieurs de la spécialité 'production végétale durable' de Montpellier SupAgro auprès de 33 exploitations viticoles localisées dans le centre de l'Hérault, dans une zone suffisamment restreinte pour limiter la variabilité liée au climat.

Les deux principaux critères pour le choix des exploitations ont été l'appartenance ou non à une cave coopérative et le type d'agriculture pratiquée en termes de stratégie de protection des cultures tel que défini par l'étude Ecophyto R&D (conventionnelle, raisonnée, intégrée ou biologique). Six types d'exploitations viticoles ont été définis : les 'systématiques', les 'raisonnés', les 'tout raisonnés', les 'bio-prudents' et les 'bio avancés'.

Disposant de ces données d'enquêtes, la méthodologie de travail a été élaborée à partir de deux réunions, la première avec des chercheurs de l'UMR System et la seconde qui réunissait les équipes qui travaillent sur plusieurs modèles DEXi (DEXiPM grande culture, DEXi-Légumes) (Annexe VI).

La démarche retenue a été de travailler à l'échelle de deux exploitations viticoles, l'une conventionnelle (type 1) et l'autre raisonnée (type 2) pour évaluer la durabilité du système de culture actuel puis la comparer à celle de plusieurs stratégies phytosanitaires alternatives.

Afin de compléter les enquêtes déjà réalisées, un questionnaire a été préparé de façon à compléter les informations nécessaires pour renseigner les indicateurs de base de l'arbre de décision (Annexe IIIA). Etant donné que chaque viticulteur a plusieurs parcelles avec des cépages différents et parfois des pratiques différentes, il fallait au préalable faire un découpage parcellaire pour désigner la zone sur laquelle porterait l'évaluation (Tableau 1).

Tableau 1. Découpage parcellaire des exploitations de type 1 et 2 selon les stratégies phytosanitaires et les objectifs de rendement

	Exploitation type 1	Exploitation type 2
SAU	17 ha	25ha
Regroupement parcellaire et cépages	Parcelles regroupées en ilots de 4 ha : chardonnay (0,64 ha), sauvignon (3 ha), vionier (0,5 ha), muscat petits grains (0,3 ha), merlot (1,2 ha), cabernet sauvignon (1,8 ha), cabernet franc (0,64 ha), carignan (2,8 ha), cinsault (0,7 ha), alicante (1,8 ha), grenache (1,2 ha), syrah (4 ha)	carignan, cabernet-sauvignon, petit verdot, merlot, syrah, chardonnay
Découpage parcellaire	Tous les cépages sont traités de la même façon aussi bien pour la lutte phytosanitaire que pour l'entretien du sol. Même objectif de rendement aussi. Pas de découpage : on prend en considération les 17 ha.	Le critère de découpage est la stratégie de protection phytosanitaire. Les cépages choisis : merlot, cabernet-sauvignon

2. Utilisation du modèle pour l'évaluation de la durabilité des systèmes viticoles

Pour les deux exploitations, la stratégie phytosanitaire existante a été évaluée pour sa durabilité environnementale, économique et sociale puis plusieurs stratégies alternatives ont été définies et testées avec les viticulteurs. Pour ce faire, on a essayé dans un premier temps d'imaginer avec les viticulteurs les changements au niveau des pratiques culturales qu'ils sont prêts à adopter pour réduire le recours aux pesticides en tenant en compte de leurs objectifs et contraintes agronomiques et économiques. On s'est basé sur des fiches techniques de pratiques alternatives élaborées dans le cadre du projet 'CePviti' (Berthier, communication personnelle). Ces fiches sont organisées par type de problématique phytosanitaire permettant de réduire significativement le recours aux produits phytosanitaires (Annexe III B) :

- limiter l'usage d'herbicides, de fongicides et d'insecticides,
- limiter les doses appliquées et le nombre de traitements,
- introduire des mesures prophylactiques en cas de plantation de nouvelle vigne.

III. Evaluation du modèle DEXiPM- vigne

L'évaluation du modèle a été réalisée d'une part avec l'un des viticulteurs qui ont fait l'objet de l'évaluation et d'autre part avec un expert extérieur : S. Tourrière (animatrice régionale de l'association TerraVitis).

1. Validation du modèle avec les viticulteurs

Les deux viticulteurs ont été sollicités dans un premier temps pour discuter de l'arbre de décision du modèle DEXiPM-Vigne notamment les critères choisis. Puis, l'un des viticulteurs (Type 2) a été sollicité pour valider tout d'abord les classes attribuées. Pour ce faire, il fallait, sans connaître les classes et les seuils, donner une note d'appréciation (faible, moyen, élevé) aux règles de base, ceci permet en quelque sorte de vérifier la pertinence des classes. Ensuite, donner une appréciation aux critères agrégés de 3ème niveau (faible, de faible à moyen, de moyen à élevé, élevé) pour vérifier la validité des fonctions d'utilité et pondérations et ceci pour la situation actuelle de l'exploitation. Le viticulteur a ensuite accès à la configuration de DEXiPM-vigne, on vérifie avec lui toutes les classes adoptées et on refait l'exercice pour la stratégie phytosanitaire alternative pour tester les sorties du modèle.

Il est à noter que tous les critères en rapport avec les caractéristiques des produits phytosanitaires (écotoxicité, mobilité, volatilité) ont été éliminés de la grille d'évaluation proposée au viticulteur. Il est difficile pour ce dernier d'évaluer ces paramètres pour les différentes matières actives utilisées. De même pour les critères directement renseignés par le viticulteur notamment plusieurs critères sociaux et économiques.

2. Validation du modèle avec l'expert

Pour l'expert, la même méthode de travail est proposée. L'expert a accès aux informations concernant l'exploitation qu'il va évaluer et pour laquelle il devra évaluer à la fois la stratégie existante et celle proposée. Cependant, cet exercice s'est avéré très difficile d'autant plus que l'expert n'a pas accès aux classes au début de l'exercice et doit juger une exploitation que seul le producteur connaît très bien. Néanmoins, ces entretiens ont permis de revoir les critères, les indicateurs et les classes choisis et d'identifier plusieurs pistes d'amélioration du modèle qui seront présentées dans la partie résultat.

Chapitre IV. Résultats et discussions

I. Choix des critères, des indicateurs et des classes

1. Critères environnementaux

Pour évaluer la durabilité environnementale, trois familles d'attributs semblent nécessaires : l'utilisation des ressources, l'impact sur les ressources et la conservation de la biodiversité.

L'ensemble des critères et indicateurs environnementaux est illustré dans la figure 3.

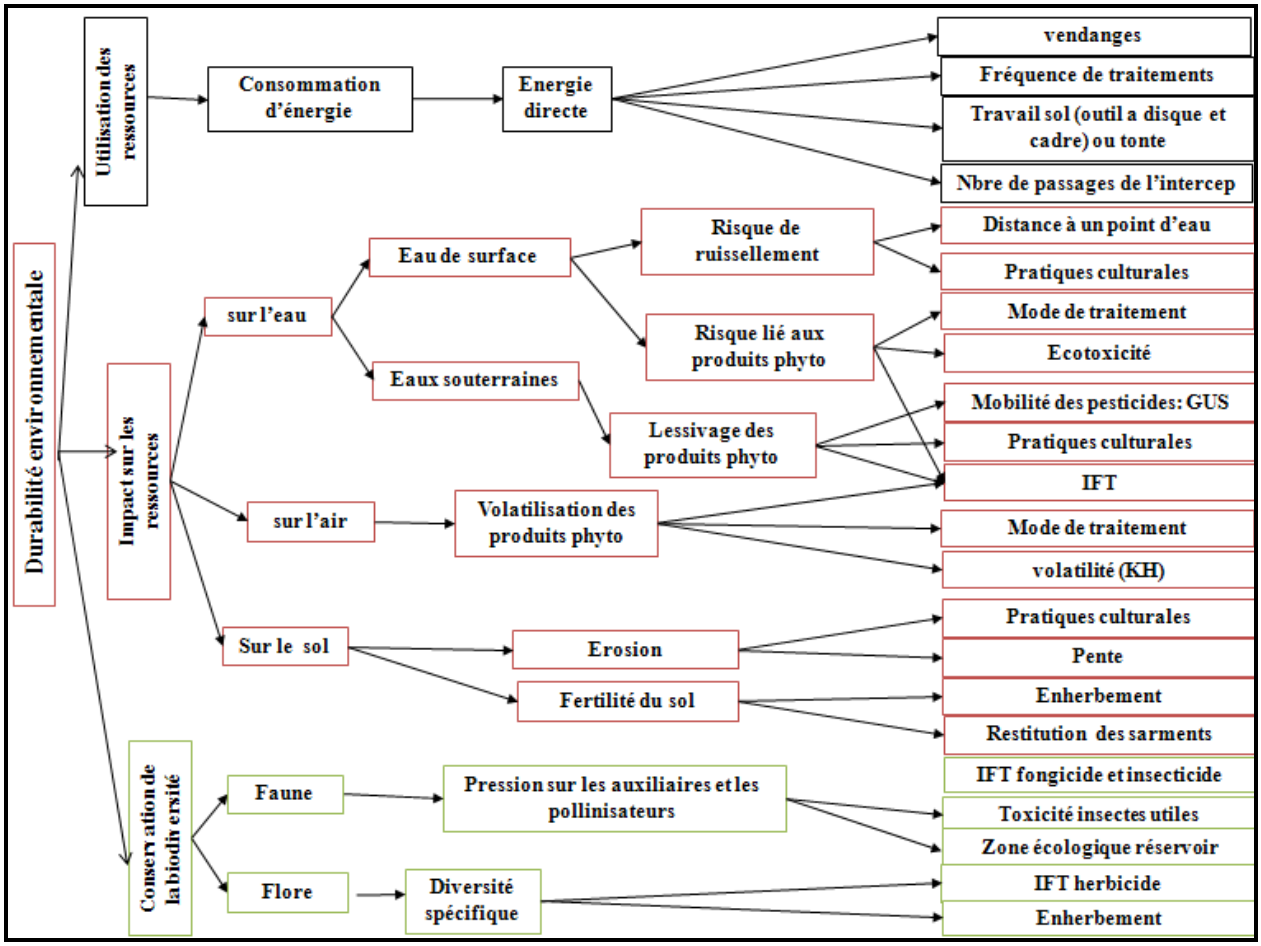


Figure 3. Arbre hiérarchique des critères environnementaux de DEXiPM-Vigne

A. Utilisation des ressources

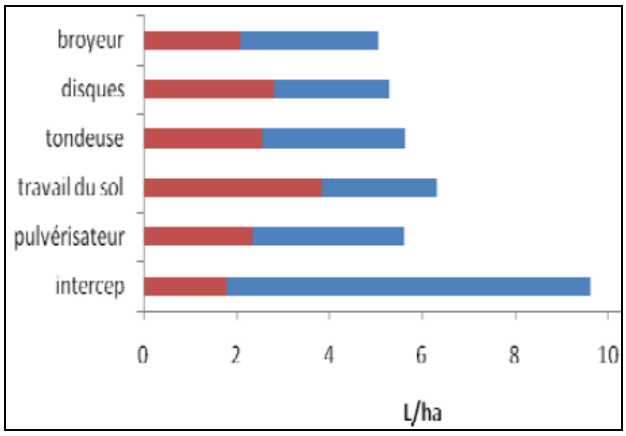
Concernant l'utilisation des ressources, l'utilisation de l'eau est négligée étant donné que l'irrigation est peu fréquente en viticulture et dans tous les cas peu abondante. La fertilisation minérale est aussi généralement faible donc elle n'est pas prise en compte. Seule la consommation d'énergie non renouvelable est considérée, à deux niveaux : consommation directe à travers les machines agricoles utilisées pour le travail du sol, les traitements phytosanitaires et la vendange et consommation indirecte liée à la fabrication d'intrants (pesticides, engrais).

Selon Pervanchon *et al.* (2002), la consommation d'énergie liée à la fabrication des pesticides représente moins de 5% de la consommation totale, on peut donc négliger l'énergie indirecte dans notre cas, d'autant plus que DEXi n'accepte pas des pondérations aussi faibles.

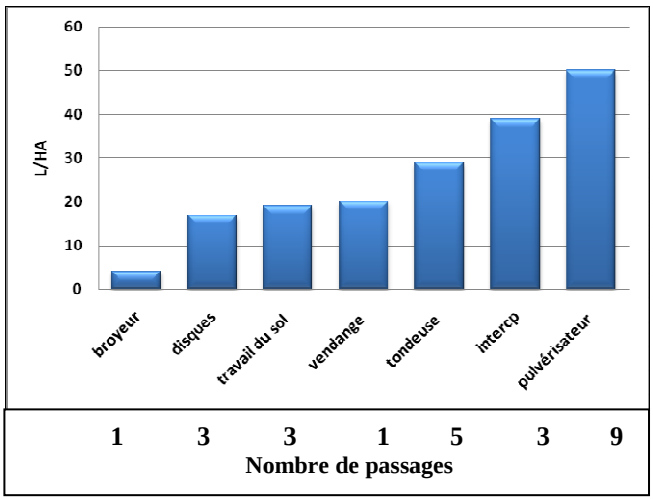
Afin de définir les indicateurs relatifs à l'énergie directe, on s'est basé sur les travaux de Gaviglio *et al.* (2010) sur l'étude des performances des matériels agricoles en viticulture. Les principaux outils testés sont : le broyeur de sarments, la tondeuse, l'intercep rotatif, les disques de travail du sol, le cadre et le pulvérisateur.

Gaviglio *et al.* (2010) tiennent compte de la vitesse d'avancement du tracteur et non de la puissance requise par l'outil. L'intercep, utilisé pour le désherbage mécanique sur le rang, est considéré comme le premier consommateur de carburant par hectare et par passage, il sera donc considéré indépendamment des autres outils de travail du sol dont le coût énergétique est proche. Si on raisonne en termes de consommation annuelle, il faut intégrer le nombre de passages. Le pulvérisateur devient alors l'outil le plus énergivore suivi par l'intercep (Figure 4).

A



B



NB : Cette étude a été réalisée en Midi Pyrénées pour une année à pression parasitaire normale et pour des conditions climatiques proches de celles de la région du Languedoc Roussillon.

Figure 4. Consommation annuelle en énergie en L de carburant/ha pour les différents outils : A : Consommation/ha/passage ; B : Consommation annuelle (L/ha) (Gaviglio *et al.*, 2010)

Les classes ont été déterminées par rapport au nombre de passages en se basant sur les résultats de l'étude Ecophyto R&D (Mezière et *al.*, 2009) sur le nombre de passages et les coûts indicatifs pour différentes opérations d'entretien mécanique du sol (Annexe IV, tab. 1).

Pour l'intercep, on considère que la consommation d'énergie est élevée à partir de trois passages, en dessous de cette limite, la consommation d'énergie est moyenne. Elle est faible si l'intercep n'est pas utilisé.

Les mêmes classes ont été attribuées pour le nombre de passages pour le travail du sol avec des outils à disques et cadres ou le nombre de tontes. On considère qu'un sol qui n'est pas travaillé est soit un sol enherbé ; dans ce cas, on tient compte du nombre de tontes, soit un sol désherbé chimiquement ce qui sera considéré à travers le nombre de traitements (Mezière et *al.*, 2009, dires d'experts et viticulteurs).

Les classes du nombre de pulvérisations ont été déterminées pour le Languedoc Roussillon, à partir des résultats de Mézière et *al.* (2009) (Annexe IV, Tab.2) : la consommation d'énergie est faible pour un nombre de traitements phytosanitaires inférieur à 9. Entre 9 et 15 traitements, elle est considérée comme moyenne et en dessus de 15 traitements, elle est élevée.

En ce qui concerne la vendange, Gaviglio (communication personnelle) estime les consommations d'énergie comme suit : 30 L/ha pour une vigne étroite, qui est la classe élevée ; 20 L/ha pour une vigne large qui est la classe moyenne et la vendange manuelle est la classe faible en termes de consommation d'énergie.

B. Impact sur les ressources

Pour évaluer l'impact du système de culture sur les ressources abiotiques, il faut tenir compte de l'impact des produits phytosanitaires sur la qualité de l'air, de l'eau de surface et de l'eau souterraine et sur l'état du sol.

- **Impact sur la qualité de l'eau**

La contamination des eaux par les pesticides et en particulier les herbicides est devenue un problème généralisé et chronique. Le transfert se fait essentiellement par ruissellement pour les eaux de surface et par lixiviation pour les eaux souterraines.

Eau de surface

Deux critères ont été considérés pour évaluer l'impact du système de culture sur l'eau de surface : le ruissellement et le risque lié à l'application des pesticides. En effet, lorsque le viticulteur traite avec un produit phytosanitaire, une partie du produit n'atteint pas la cible et se retrouve sur le sol. Par ailleurs, une partie de la quantité pulvérisée peut ruisseler le long des feuilles et des rameaux en cas de pluie et se retrouver sur le sol. Sans oublier un autre facteur important qui est la dérive aérienne. A partir de ces trois sources, les produits phytosanitaires peuvent être entraînés jusqu'à un cours d'eau (rivière, ruisseau, fossé) ou un point d'eau (mare, étang).

Les indicateurs utilisés pour évaluer le risque de pollution lié au ruissellement sont : le potentiel de dérive (lié aux pesticides) et les pratiques culturales.

Afin d'estimer la variable 'Potentiel de dérive', Thiollet-Scholtus (2004) calcule le pourcentage de produits phytosanitaires (% de la dose appliquée) qui se retrouve au point d'eau en tenant compte de la distance de la parcelle au point d'eau. Le tableau 2 montre une estimation de la dérive au sol en

pourcentage de la dose de produit phytosanitaire appliquée pour une parcelle de vigne en prenant en compte la distance au point d'eau.

Tableau 2. Valeurs de la variable « Potentiel de transfert sur le sol » en fonction de la distance de la parcelle à un point d'eau (Thiollet-Scholtus, 2004)

Distance de la parcelle traitée à un point d'eau (m)	Potentiel de dérive
> 30	**0**
20 à 30	**0,2**
15 à 20	**0,35**
10 à 15	**0,75**
< 10	**1**

Les pratiques culturales contribuent aussi au ruissellement étant donné qu'elles changent l'état de surface du sol. L'enherbement consiste à conduire un couvert végétal naturel ou une culture d'espèces semées dans l'inter-rang. Ses avantages agronomiques et environnementaux placent l'enherbement comme une alternative efficace et écologique au désherbage chimique (Dartigoeyte, 2006).

Andrieux (2006) a testé l'effet de quatre pratiques pour la maitrise de l'enherbement :

- désherbage chimique total à base d'herbicides de prélevée ou post levée ;
- enherbement naturel avec travail du sol superficiel ;
- maîtrise de l'enherbement naturel par un herbicide de post levée, le glyphosate,
- enherbement permanent semé et contrôlé par un gyrobroyage.

Les résultats sur quatre années d'expérimentation (pluviométrie variable) exprimés en pourcentage de ruissellement sont illustrés dans la figure 5. C'est la pratique du désherbage chimique total qui entraîne le plus de ruissellement tandis que la maitrise de l'enherbement par un travail du sol superficiel est celle qui est la moins ruisselante.

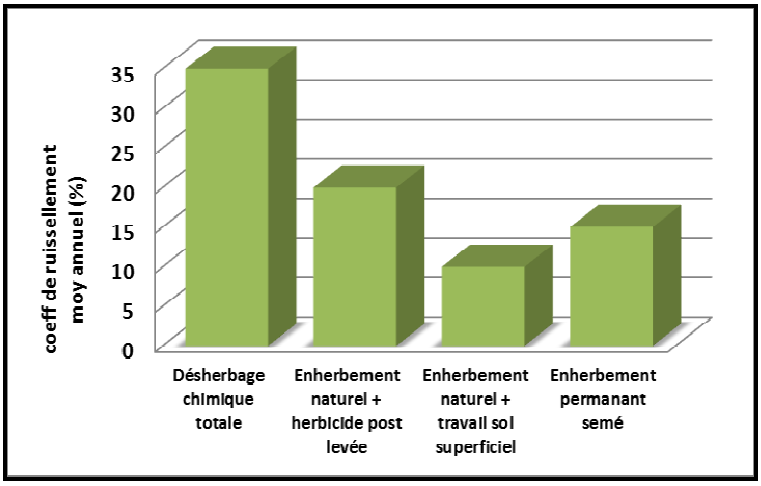


Figure 5. Influence des pratiques culturales sur le ruissellement Andrieux (2006)

Le risque lié aux pesticides est évalué à travers 3 indicateurs :

- **l'IFT total** : l'IFT est un indicateur de l'intensité des traitements phytosanitaires. Il représente le nombre de traitements à dose homologuée appliqués lors d'une campagne et calculé comme suit :

  IFT = Σ par produit et par passage [(dose appliquée du produit i / dose homologuée du produit i) * (surface traitée/surface totale)

Les classes de l'IFT ont été déterminées en se basant sur les travaux de Meziere *et al.* (2009) (Annexe IV, tab.2) : un IFT total inférieur à 9 est considéré comme faible, moyen s'il est compris entre 9 et 15 et élevé s'il est au dessus de 15.

- **le potentiel de perte du produit** lié au mode de traitement. En effet, le vigneron champenois (2010) a classé les modes de pulvérisation selon leur impact sur la dérive aérienne. C'est l'appareil de traitement face par face qui induit le moins de pertes de produits phytosanitaires. Quant aux appareils non face par face, ils induisent une dérive importante quand le jet est non dirigé vers la cible, la dérive diminuant en réglant l'appareil vers le couvert végétal.

- **l'écotoxicité :** la toxicité des produits phytosanitaires envers les organismes aquatiques a été évaluée en se basant sur le site du ministère de l'agriculture et de la pêche (E-Phy) et la base de données PPDB (Pesticide Properties DataBase). Une liste des matières actives les plus utilisées en viticulture et leur toxicité est dans l'annexe V. A.

  Etant donné qu'il peut y avoir des niveaux différents de toxicité pour plusieurs produits utilisés dans une même stratégie de protection de la culture, on considère toujours la note la plus élevée pour tout le système.

Eaux souterraines

Le lessivage des produits phytosanitaires dans les eaux de profondeur est lié essentiellement aux caractéristiques de la molécule active et aux propriétés du sol (Van Der Werf, 1996). Les indicateurs choisis sont : la mobilité des pesticides dans le sol, l'IFT qui intègre les doses et les fréquences de traitement et les pratiques culturales qui influencent l'état du sol. Pour ce dernier, les mêmes pratiques culturales utilisées pour évaluer le ruissellement ont été choisies en considérant l'effet inverse sur le lessivage. En effet, d'après Andrieux (2006), plus la capacité d'infiltration du sol est importante, plus le risque de ruissellement est faible et donc le risque d'entraînement des pesticides dans les nappes augmente.

De ce fait, le travail du sol est la pratique qui impacte le plus le lessivage. Par contre, la présence d'herbe réduit en moyenne les transferts de produits phytosanitaires en surface de 70 à 95%.

La dégradation des produits phytosanitaires ainsi retenus est favorisée par l'activité biologique du sol enherbé. Il est important d'avoir un couvert végétal dense tout au long de l'année ou au moins pendant les

périodes de plus fort risque d'entraînement des pesticides (Les publications de l'IFV : enherbement et impacts sur la vigne).

Pour évaluer la mobilité des pesticides, on utilise l'indice GUS (*Groundwarter Ubiquity Score*, Gustafson, 1989) dont la formule est : **GUS = [log(DT50)]*[4-log(KOC)]** qui définit le risque de contamination des eaux souterraines en fonction du temps de demi-vie (DT50) et de l'adsorption de la molécule considérée (KOC) (Bockstaller et Girardin, 2007). Cet indice repose sur l'hypothèse que plus un produit est facilement adsorbé par les particules de sol et moins il est persistant, moins le risque est grand qu'il soit entraîné en profondeur. On considère qu'au-dessus d'un indice de 2,8, les substances ont une grande probabilité d'atteindre les eaux souterraines, tandis qu'un indice inférieur à 1,8 indique une très faible probabilité de transfert (Bockstaller et Girardin, 2007 ; Thiollet-Scholtus, 2004).

Les valeurs GUS des matières actives les plus utilisées en viticulture sont listées dans l'annexe V B à partir de la base de données PPDB (Pesticide Properties DataBase).

- **Impact sur l'état du sol**

L'impact du système de culture sur la qualité du sol a été évalué à travers deux critères : l'érosion et la fertilité du sol. Les travaux d'Andrieux (2006) ont permis, de la même façon que pour le ruissellement, de classer les pratiques culturales selon leur influence sur l'érosion. Les résultats exprimés en tonnes de terre érodées par hectare par année montrent que la pratique du désherbage chimique total est celle qui entraîne le plus de perte de terre (classe élevée). L'enherbement naturel maîtrisé par le travail du sol et l'engazonnement sont les moins érosifs (classe faible) tandis que l'enherbement naturel contrôlé par un herbicide post levée est considéré comme la classe moyenne (Figure 6). L'érosion est aussi favorisée par la pente et par le climat, notamment la pluviométrie. Ce dernier paramètre n'a pas été retenu étant donnée la variabilité importante de la pluviométrie annuelle entre les régions et donc la difficulté de faire des seuils couvrant toutes les gammes.

Les conditions climatiques dans cette étude n'ont pas été prises en compte puisqu'on considère que ces paramètres ne changent pas quand on évalue une stratégie actuelle et une stratégie alternative pour une même exploitation agricole dans le même contexte climatique.

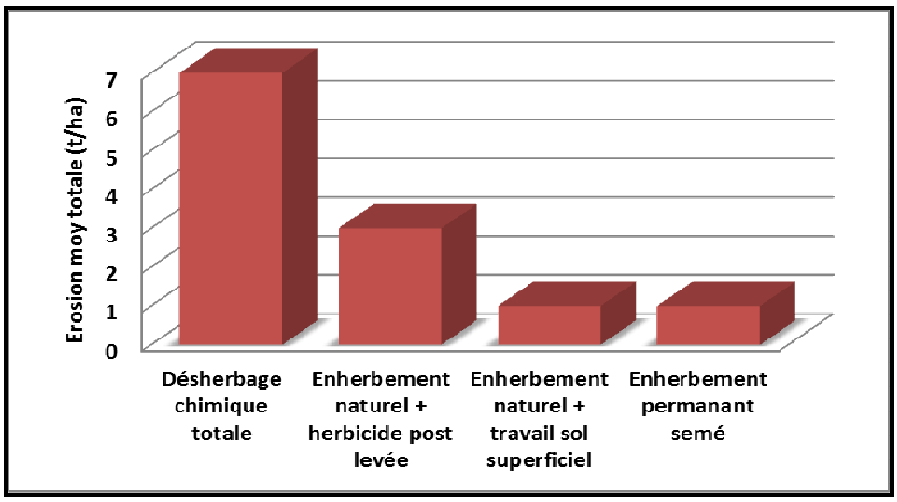


Figure 6. Influence des pratiques culturales sur l'érosion. Andrieux (2006)

La fertilité du sol est liée essentiellement à l'enherbement. Celui-ci permet une meilleure alimentation en phosphore, du fait de la stimulation de l'activité biologique des sols. Il peut aussi concourir à réduire le risque de chlorose dans les sols calcaires ou dans les sols asphyxiants, en améliorant les propriétés physico chimiques et biologiques du sol (Les publications de l'IFV : enherbement et impacts sur la vigne). On considère l'enherbement permanent comme la pratique qui favorise le plus la fertilité du sol (classe élevée) par rapport à l'enherbement temporaire (classe moyenne) et le désherbage chimique (classe faible), ceci a été confirmé avec Patrick Andrieux (communication personnelle). On tiendra aussi compte des différentes modalités d'enherbement (tous les IR, ½ IR, $^{1/3}$ IR…).

Certaines pratiques des viticulteurs comme le broyage des sarments constituent un apport organique pour le sol. On attribue la note élevée si les sarments sont broyés, moyenne s'ils ne sont pas broyés et faible si le viticulteur ne restitue pas ses sarments.

- **Impact sur la qualité de l'air**

Selon Van Der Werf (1996), 70% de la dose de pesticides appliquée peut être volatilisée. Les principaux facteurs induisant ces pertes sont : le mode de pulvérisation (potentiel de perte du produit), la volatilité de la molécule (Thiollet-Scholtus, 2004) et l'IFT total qui définit la dose et la fréquence d'application.

La constante de Henry (KH) permet de discriminer les substances actives volatiles de celles qui ne le sont pas. Le K_H des pesticides les plus utilisées est listé dans l'annexe V B, en se référant à la base de données PPDB (Pesticide Properties DataBase).

C. Conservation de la biodiversité

La biodiversité englobe la faune, en particulier les auxiliaires et les pollinisateurs et la flore. Pour l'impact sur la faune, trois indicateurs sont à retenir : l'IFT, l'écotoxicité des pesticides appliqués et la présence ou pas de zones écologiques réservoirs (ZER) identifiées comme une mesure de conservation de la

biodiversité. L'enherbement naturel contribue aussi à attirer les ennemis naturels qui se développent grâce aux ressources de pollen et de nectar mais surtout grâce aux proies présentes (van Helden, 2007).

En se basant sur les résultats d'Albrand et Helgoualch (2006), on a choisi trois ZER qui pourraient contribuer à favoriser la biodiversité en viticulture : les haies, les bandes enherbées autour des parcelles et l'enherbement. Les classes sont déterminées en fonction de l'association de ces ZER. En effet, selon Altieri et Nicholls (2004), une combinaison de haies et d'enherbement naturel semble l'option la plus favorable pour augmenter la biodiversité générale et pour espérer obtenir une régulation naturelle des insectes ravageurs. Pour l'enherbement, il est important de tenir compte des différentes modalités mais aussi de leur importance par rapport à la surface des parcelles (expertise S. Tourrière).

Pour évaluer la toxicité aux insectes utiles, on ne prend en considération que les auxiliaires relatifs à la vigne et les insectes pollinisateurs. La liste des principaux prédateurs est dressée dans l'annexe V C.

La règle de décision est de prendre les degrés de toxicité les plus élevés en se basant sur le site E-phy (effets non intentionnels) qui classe chaque matière active selon son action sur les insectes utiles (neutre, peu toxique, moyennement toxique, toxique, très toxique) et de les considérer pour tout le système.

Concernant l'impact sur la diversité spécifique végétale, il est évalué à travers l'IFT herbicide. Les classes retenues sont les suivantes : l'IFT herbicide est considéré élevé au dessus de 4, moyen s'il est compris entre 2 et 4 et faible s'il est inférieur à 2 (Mézières *et al.* 2009).

L'enherbement est aussi un paramètre important à prendre en compte. En effet, on considère que pour un enherbement naturel, la diversité spécifique est plus importante en comparaison avec un enherbement semé. L'abondance spécifique est prise en compte à travers les différentes modalités d'enherbement. Elle est plus importante pour un enherbement tous les IR (Andrieux, communication personnelle).

Le tableau 3 résume les différents indicateurs et les classes attribuées pour la durabilité environnementale.

Tableau 3. Classes attribuées aux indicateurs environnementaux

	Indicateurs	Classes	Références
Energie directe	Consommation d'énergie liée aux vendanges	E : vigne étroite M : Vigne large F : manuel	Gaviglio (Communication personnelle)
	Consommation d'énergie liée à l'utilisation de l'intercep	F: pas d'intercep M: moins de 3 passages E : 3 passages ou plus	Meziere *et al.* (2009)
	Consommation d'énergie liée au travail du sol : outils à disques et cadres ou à la tonte	F: pas de travail du sol/pas de tonte M: moins de 3 passages/tontes E:3 passages/ tontes ou plus	Meziere *et al.* (2009)
	Consommation d'énergie liée aux traitements phyto	F: moins de 9 traitements M: entre 9 et 15 traitements E : plus de 15 traitements	Meziere *et al.* (2009)
Risque de ruissellement	Distance à un cours d'eau	F : dist >20 m M: 15< dist<20 m E:dist <15 m	Thiollet-Scholtus (2004)
	Pratiques culturales	E (desh chimique totale) M (enh naturel + herbicide post levée) F (Enh permanant semé/enh naturel + w sol sup)	Andrieux (2006)
Risque lié aux pesticides	Mode de traitement	F: App face par face M : App non face par face à jet vers la cible E : App non face par face à jet non vers la cible	Le vigneron champenois (2010)
	Ecotoxicité (Organismes aquatiques)	E : très toxique M : toxique F : nocif	http://e-phy.agriculture.gouv.fr/ http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr/index.htm
	IFT	F : IFT<7 M : 7 < IFT<13 E :IFT> 13	Meziere *et al.* (2009)
Lessivage des pesticides	Mobilité pesticides	F: GUS<2,8 M: 1,8< GUS<2,8 E: GUS>2,8	Bockstaller et Girardin (2007) Thiollet-Scholtus (2004)
	Pratiques culturales	F (desh chimique totale) M (enh naturel + herbicide post levée) E (Enh permanant semé/enh naturel + w sol sup)	Andrieux (2006) communication personnelle
	Mode de traitement	F : App face par face M : App non face par face à jet vers la cible	Le vigneron champenois (2010)

		E : App non face par face à jet non vers la cible	
Impact sur l'air	**Volatilité pesticides (KH)**	**F : faiblement volatil** **M:moy volatil** **E : très volatil**	**http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr/index.htm**
	Pratiques culturale	**E : desh chimique** **M : enh naturel + herbicide post levée** **F : enh naturel + w sol ou Enh permanant semé**	**Andrieux (2006)** **Andrieux (communication personnelle)**
Impact sur le sol	**Pente**	**F/M/E**	**Estimation Viticulteurs**
	Enherbement	**F : Désherbage chimique** **M : enherbement temporaire semé** **E : enherbement permanant semé**	**Andrieux (communication personnelle)**
	Restitution sarments	**E : oui av broyage** **M : oui sans broyage** **F : non**	**-**
Pression sur les auxiliaires et pollinisateurs	**IFT fongicide et insecticide**	**F : IFT<5** **M : 5< IFT<11** **E : IFT> 11**	**Meziere *et al.* (2009)**
	Toxicité aux/abeille	**E/M/F**	**http://ephy.agriculture.gouv.fr/;** **http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr/index.htm)**
	Zone écologique réservoir	**F: Absence de ZER** **M : Bandes enherbées ou enherbement ou haie** **E : enherbement, Bandes enherbées et haies**	**Albrand et Helgoualch (2006)** **Altieri et Nicholls (2004)**
Diversité spécifique	**IFT herbicide**	**E :IFT>4** **M :2<IFT<4** **F :IFT<2**	**Meziere *et al.* (2009)**
	Enherbement	**F : Désherbage chimique** **M : enherbement semé** **E : enherbement naturel**	**Andrieux (communication personnelle)**

2. Critères économiques

Toujours en se référant à l'arbre de décision de DEXiPM grandes cultures deux attributs ont été considérés pour la durabilité économique : la profitabilité et la viabilité du système. L'arbre de décision pour le volet économique est illustré dans la figure 7.

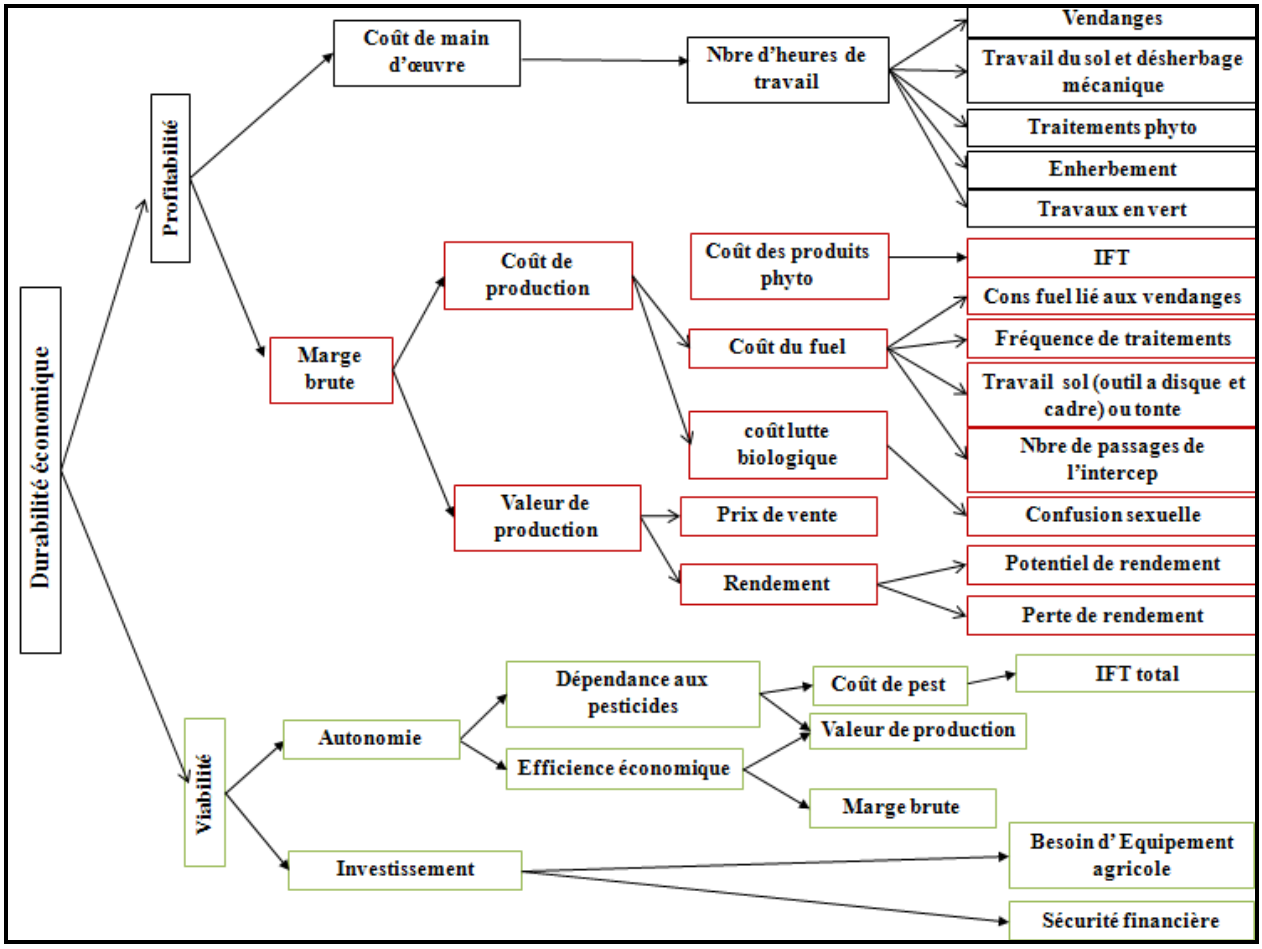


Figure 7. Arbre hiérarchique des critères économiques de DEXiPM-Vigne

A. La profitabilité

Cet attribut prend en compte la marge brute (valeur de production et coût de production) et le coût de la main-d'œuvre.

- **Les coûts de production** incluent les coûts de pesticides renseignés qualitativement à partir de l'IFT total, le coût du fuel estimé à travers la consommation énergétique des principales pratiques culturales vendange, traitements, travail du sol et intercep) ainsi que le coût de la confusion sexuelle, principale méthode de lutte biologique et qui est estimé entre 150 et 240 €/ha[1].

- **La valeur de production** est évaluée en estimant le prix de vente et le potentiel de rendement appréciés qualitativement par le viticulteur par rapport à la moyenne de la région. Pour le rendement, on a aussi

[1] (http://www.vitisphere.com/breve-56259 Methode,complementaire,confusion,sexuelle,vigne,une,volonte,politique.htm)

intégré l'estimation du risque de diminution du rendement par rapport à l'adoption d'une nouvelle stratégie phytosanitaire.

Les pratiques responsables de la réduction du rendement identifiées sont en premier lieu l'enherbement, ensuite l'ébourgeonnage, l'effeuillage et l'éclaircissage. Ces pratiques ne sont pas forcément appliquées par les viticulteurs dans un but prophylactique mais généralement pour aérer la vigne et faciliter le passage des machines. Cependant il est connu qu'elles permettent de réduire la sensibilité de la vigne aux maladies.

L'implantation d'un enherbement permanent réduit la vigueur de la parcelle (Valdés-Gomez *et al*,. 2008). Cet effet est systématique et induit une diminution de rendement qui se traduit par un nombre de grappes par souche et/ou un poids moyen par grappe inférieurs (Boutin *et al*., 2003). L'impact sur le rendement diffère selon les variétés de graminées semées. Les fétuques élevées sont les plus concurrentielles (réduction de vigueur supérieure à 30 %). Ensuite, trois variétés ont un comportement assez proche en termes d'effet concurrentiel sur la vigueur : le pâturin des prés, le ray-grass anglais et, dans une moindre mesure, les fétuques rouges (réduction de 15 à 25 %) (Dartigoeyte, 2006).

Concernant l'éclaircissage, la date d'intervention est importante pour la réussite de cette opération. Elle doit avoir lieu entre la fermeture de la grappe et la véraison. Un éclaircissage inférieur à 30% n'a pas d'effet significatif sur la récolte. Il faut en moyenne supprimer 50% des grappes pour obtenir une diminution de rendement de 30 à 35% (Coutarel *et al.*, 2003).

L'une des difficultés pour évaluer des systèmes alternatifs est d'estimer l'impact des travaux en vert (éclaircissage, ébourgeonnage, effeuillage, enherbement…) sur le rendement.

Pour l'enherbement, ceci est possible à travers le niveau de concurrence pour les ressources des espèces cultivées avec la vigne illustré dans le tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques des principales espèces utilisées en enherbement (Dartigoeyte, 2006)

Espèces	Implantation	Portance	Résistance aux passages	Tolérance sècheresse	Effet concurrentiel
Ray-grass anglais	Bonne	Bonne	Bonne	Faible	Moyenne à élevée
Fétuques ovines	Faible	Bonne	Faible	Moyenne	Moyenne
Fétuques élevées	Moyenne	Très bonne	Très bonne	Bonne	Très élevée
Fétuques rouges	Moyenne	Bonne	Moyenne	Moyenne	Moyenne à élevée
Fétuques ½ traçantes	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne à élevée
Pâturin des près	Faible	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Faible

Outre le choix des espèces à enherber, il est aussi possible de contourner l'effet de concurrence en alternant l'enherbement : un rang sur deux et même tous les trois ou quatre rangs et en limitant la largeur des bandes enherbées autours des parcelles. En effet, dans plusieurs situations, une réduction de l'effet concurrentiel de 80 à 100 % a pu être constatée (Boutin *et al*., 2003).

Pour les autres travaux en vert, l'impact sur le rendement est moins facile à estimer en raison de l'absence d'étude sur cet aspect pourtant important en viticulture. Pour ce faire, on s'est basé sur les travaux de Meziere *et al.* (2009), dans lesquels un indice qui prend en compte les mesures prophylactiques est calculé. Il s'agit de l'indice de maitrise de la vigueur dont la formule est la suivante :

Indice de maitrise de vigueur = S (pratique i x poids i)

Les poids ont été définis à dire d'experts en fonction de l'impact prophylactique de chaque pratique essentiellement sur le mildiou et l'oïdium, les deux maladies à forte nuisibilité qui sont ciblées majoritairement dans les programmes de lutte phytosanitaire (tableau 5).

Tableau 5. Poids des pratiques culturales sur l'indice de maîtrise de la vigueur végétative (Meziere *et al.*, 2009)

Pratiques culturales	Poids prophylactique attribué
Effeuillage	**0,3**
Ebourgeonnage	**0,5**
Enherbement	**0,6 si enherbement total** **0,6 si enherbement tous les inter-rangs** **0,4 enherbement tous les 2-3 inter-rangs**
Apport de fumure organique	**0 si un produit à minéralisation lente** **-0,2 si un produit à minéralisation rapide ou deux produits à minéralisation lente** **-0,3 si deux produits à minéralisation lente et rapide ou deux produits à minéralisation rapide**
Apport de fumure minérale	**0 si quantité apportée entre 0 et 30 unités N/ha** **-0,3 si quantité apportée entre 30 et 50 unités N/ha** **-0,4 si quantité apportée entre 50 et 80 unités N/ha** **-0,6 si quantité apportée 80 unités N/ha**

D'après les données de Meziere *et al.* (2009) sur les indicateurs de performance des niveaux de rupture 0, 1, 2 et 3 pour la viticulture nationale (Annexe IV, tab2.), on remarque que le rendement et l'IFT diminuent avec l'augmentation des mesures prophylactiques. A partir de ces données, on a essayé de définir une courbe qui permet de prédire la variation de ces deux indicateurs en fonction de l'IMV (figure 8), après avoir calculé l'indice de maitrise de vigueur pour les deux exploitations (tableau 6).

Il est vrai qu'il n'existe pas une corrélation directe entre IFT, rendement et l'indice de maîtrise de la vigueur. De plus, avec cette courbe, on risque de surestimer les valeurs de l'IFT étant donné que ce sont des valeurs nationales qui englobent des systèmes de cultures différents (objectif de rendement, cépage…). Toutefois, dans l'état de connaissances et de données dont on dispose, cette méthode nous semble satisfaisante pour décider de l'évolution de l'IFT et du rendement avec un ensemble de mesures prophylactiques.

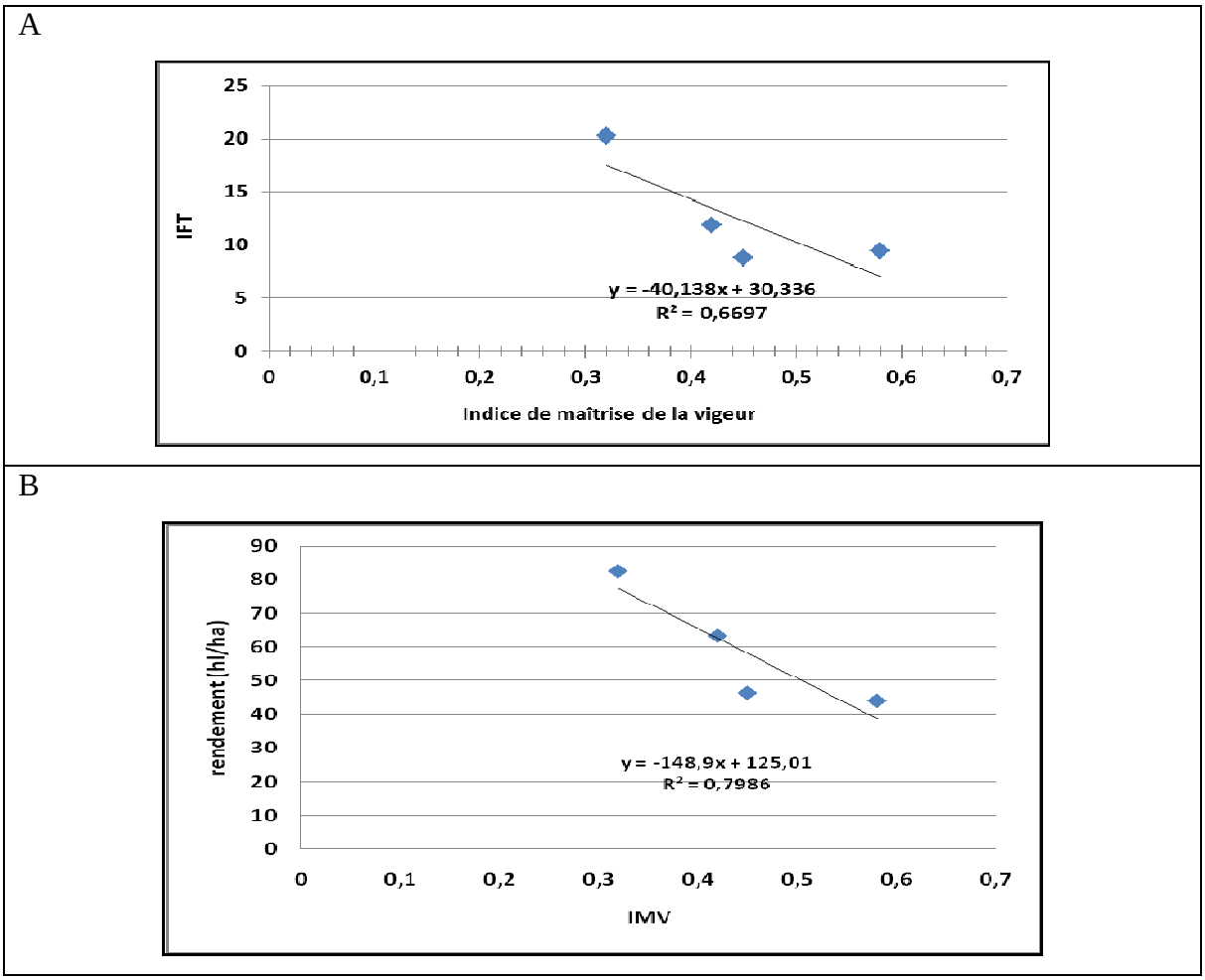


Figure 8. Evolution de l'IFT (A) et du rendement (B) en fonction de l'indice de maitrise de la vigueur

Les IMV pour les deux exploitations correspondant à la nouvelle stratégie sont calculés dans le tableau 6.

Tableau 6: Calcul de l'IMV pour les deux exploitations

	Fertilisation	Poids enherbement	Travaux en vert	IMV
Exp type 1	-0,4 (70 UN)	0,4	0,5	0,5
Exp type 2	-0,6 (82,5 UN)	0,4	0,5	0,6

- **Coût de la main-d'œuvre** : on a choisi d'adopter les mêmes classes utilisées pour la consommation énergétique et le coût du fuel pour estimer le nombre d'heures de travail (tableau 8).

On a également essayé d'estimer le coût de la main-d'œuvre pour l'enherbement et les travaux en vert qui font partie des leviers sur lesquels on agit pour définir des stratégies alternatives.

Pour couvrir toutes les modalités pratiquées par les viticulteurs, on a tenu compte à la fois de l'enherbement naturel et semé mais également de la surface enherbée (tous les IR, ½ IR, 1/3 IR…). On a donc estimé le coût de la main-d'œuvre pour la tonte (Tableau 7) et ceci en se basant sur le document de

l'IFV sur les coûts annuels par hectare des différentes modalités de l'enherbement (Les publications de l'IFV) mais aussi sur les travaux réalisés avec le viticulteur de l'Hérault C. Duby, (Mezière, communication personnelle).

Les classes fixées pour le coût de la main-d'œuvre de l'enherbement sont les suivantes :

- **Elevée (10-16h/ha)** Enherbement permanant semé IR et ½ IR
- **Moyenne (4,5-10h/ha)** Enherbement temporaire semé toutes les modalités
  Enherbement permanant naturel IR
  Enherbement permanent semé <=1/3 IR
- **Faible (0,75-4,5h/ha)** Enherbement temporaire naturel toutes les modalités
  Enherbement permanent naturel <= ½ IR
  Enherbement permanent semé 1/3 IR

NB : Les coûts en temps de l'implantation et du travail du sol (modalité tous les inters rangs) sont estimés à 4h/ha et le semis est estimé à 3h/ha (Mezière, communication personnelle).

Tableau 7. Estimation des coûts annuels par hectare de la tonte et du semis au niveau des différentes modalités de l'enherbement (bilan pour la mise en place de l'enherbement)

	Enherbement permanent			Enherbement temporaire		
Modalités	**Semé**		**Naturel**	**Semé**		**Naturel**
	Tonte et semis	**Semis**		**Tonte et semis**	**Semis**	
IR	16h	9h	9h	10h	3h	3h
½ IR	11,5h	4,5h	4,5h	8,5h	1,5h	1,5h
1/3 IR	10h	3h	3h	8h	1h	1h
¼ IR	9,25h	2,25h	2,25h	7,75h	1,75h	0,75h

NB : Généralement l'enherbement permanent nécessite deux à trois tontes (20 cm de hauteur) tandis que l'enherbement temporaire requiert une seule tonte (Andrieux, communication personnelle)

Le coût de main-d'œuvre des travaux en vert sont également estimés. Ces pratiques sont les suivantes :

- l'éclaircissage est la technique d'élimination des grappes excédentaires au rendement estimé. Il existe deux moyens de réaliser cette opération : manuellement ou chimiquement.

- l'éclaircissage manuel permet de réduire la récolte en supprimant des grappes, le poids des grappes reste inchangé ou augmente s'il existe des phénomènes de compensation. Cette opération nécessite 40h/ha de travail, ce qui représente un coût de 495 €/ha (classe élevée). L'éclaircissage chimique s'attache à diminuer le poids de chaque grappe et a peu d'effet sur le nombre de grappes. Ce mode d'éclaircissage nécessite quant à lui 3 comptages d'une heure chacun, effectués par une main-d'œuvre qualifiée soit un coût de 16,69 €/ha (classe moyenne). Le coût de main-d'œuvre de l'éclaircissage est faible si cette pratique n'est pas appliquée (Fiches pratiques de l'IFV sud-ouest).

- l'ébourgeonnage : le nombre d'heure pour l'ébourgeonnage varie énormément avec les cépages. On propose les classes suivantes : le coût de la main-d'œuvre est estimé élevé quand le nombre d'heures de travail dépasse les 40h/ha et faible s'il est au dessous de cette limite (Mezière, communication personnelle).

- l'effeuillage : consiste à enlever la totalité ou une partie des feuilles de la zone fructifère. Il est réalisable depuis le printemps jusqu'à l'arrière saison. Cette pratique tend aujourd'hui à se développer du fait de sa mécanisation. Des études menées par Serrano et Renard (2001) sur l'effeuillage mettent en évidence un effet limitant de cette pratique sur le développement de la pourriture grise quel que soit le stade de réalisation mais qui est plus prononcé au stade nouaison. Ceci s'explique en partie par l'aération de la zone des grappes.

- Si l'effeuillage est réalisé manuellement, le coût de la main-d'œuvre est jugé élevé (40h/ha). Le nombre d'heures de travail est considérablement réduit quand l'effeuillage est mécanique (2h/ha), le coût est donc jugé moyen. Ce coût est faible en absence d'effeuillage (Mezière : communication personnelle).

- le rognage ou l'écimage sont réalisés pour limiter le développement de la vigne. Ils se traduisent généralement par une réduction importante du nombre de feuilles. Cette opération est généralement mécanisée. Pour estimer le coût de la main-d'œuvre, on a tenu compte du nombre de passages. Ce coût est faible quand il n'y a pas de rognage ou d'écimage, il est moyen pour un rognage mécanique avec 1 à 3 passages et élevé pour un nombre de passage supérieur à 3.

- l'épamprage : selon le rapport de l'ITV France Midi-Pyrénées (Gaviglio, 2006), l'épamprage est une pratique qui limite l'utilisation des produits phytosanitaires. L'épamprage manuel est exigeant en main-d'œuvre. Il faut compter environ 10h/ha, soit un coût de 124 €/ha.

L'épamprage mécanique s'est développé ces dernières années. Il s'effectue à l'aide de brosses rotatives à lanières ou à tiges flexibles. Il exige 1 h30 à 2 h/ha, soit un coût horaire de 16,69 €. L'épamprage chimique utilise l'effet défanant de certains produits utilisés habituellement comme herbicides. L'application doit être réalisée sur des pampres de 30 à 40 cm de long, entre la mi-mai et début juin dans le sud-ouest. Le nombre d'heure par ha s'élève à 1h30 avec le même coût horaire que l'épamprage chimique, Gaviglio (2006). Pour établir les classes de coût de main-d'œuvre, on a aussi tenu compte du nombre de passages. Ces coûts sont donc faibles si l'épamprage est mécanique ou chimique avec un seul passage, ils sont moyens si le nombre de passages est supérieur ou égal à 2 et élevés pour un épamprage manuel.

B. La viabilité

La viabilité du système comprend l'autonomie, à savoir l'efficience économique : ratio entre la marge brute et la valeur de production, et la dépendance aux produits phytosanitaires : ratio entre la valeur de production et le coût de pesticide.

Elle comprend également la capacité d'investissement, c'est-à-dire le besoin en matériel agricole qui est généralement important dans le cas d'une nouvelle pratique culturale ainsi que la sécurité financière.

Le tableau 8 résume les indicateurs et classes attribuées pour la durabilité économique.

	Indicateurs économiques	Classes	Références
Coût de main d'œuvre	**Vendange**	E : manuel (120h/ha) M : mécanique vigne large F : mécanique vigne étroite (2-3h/ha)	Mezière (communication personnelle)
	Travail du sol et désherbage mécanique	F : pas de travail sol M : outil à cadre ou à disque E : Interceps	Gaviglio (2010)
	Pulvérisation	F : <9 trt M : 9<trt<15 E>15	Meziere *et al.* (2009)
	Travaux en vert **Eclaircissage**	F : pas d'éclaircissage M : chimique (3h/ha) :16,69€/ha E: manuel (40h/ha) : 12,37€/ha	Fiches pratiques de l'IFV sud-ouest
	Ebourgeonnage	F : pas d'ébourgeonnage M :<40h/ha E :>40h/ha	Mezière (communication personnelle)
	Effeuillage	F : pas effeuillage M : mécanique (2h) E : manuel (40h)	Mezière (communication personnelle)
	Rognage/Ecimage	F : pas de rognage M : mécanique : 1 à 3 rognages E : mécanique > 3 rognages ou manuel	Mezière (communication personnelle)
	Epamprage	F : mécanique ou chimique 1 fois (1à2h) M : mécanique ou chimique> 1 fois E : manuel (10-30h/ha)	Mezière (communication personnelle)
	Enherbement **Préparation du semis**	F : pas de semis M :< IR E : tous les IR 7h/ha	Mezière (communication personnelle)
	Tonte	F : pas de tonte M : 1 tonte : enherbement temporaire (0,75-3h) E : 3 tontes : enherbement permanent (2,25-9h)	Mezière (communication personnelle)

Coût de production	**Coût pesticide**	F : IFT<7 M : 7 < IFT<13 E :IFT> 13	Meziere *et al.* (2009)
	Coût fuel	E : vigne étroite M : Vigne large F : manuel	Gaviglio (2010)
		F: pas d'intercep M: <3 passage E :>=3 passage	Meziere *et al.* (2009)
		F: pas de travail du sol/tonte M: travail sol/tonte<3 E:>= 3	Meziere *et al.* (2009)
		F: <9 trt M: 9<trt<15 E>15	Meziere *et al.* (2009)
	Coût lutte bio	Présence /absence	
Valeur de	**Potentiel de rdt**	E/M/F estimé par le viticulteur	
	Prix de vente	E/M/F estimé par le viticulteur	
	Diminution du rendement	E/M /F (selon l'alternative)	
Investisse	**Besoin en matériel agricole**	E/M /F (selon l'alternative)	
	Sécurité financière	F/M/E selon l'alternative	

Tableau 8. Indicateurs économiques et seuils attribués

3. Critères sociaux

Comme on a procédé pour les autres dimensions de la durabilité, on a repris les critères sociaux définis pour les grandes cultures dans le projet ENDURE en effectuant les modifications nécessaires. De ce fait, les trois attributs retenus sont :

- l'adoptabilité qui définit la capacité du système évalué à s'adapter aux changements. Il inclut l'accès au marché essentiellement la compatibilité avec les contraintes de certification, le support des viticulteurs à travers l'accès aux logiciels d'aide à la décision et les sources de conseils pertinents, l'accès aux nouvelles technologies (matériel agricole de pointe) et à l'innovation et également la réticence des agriculteurs face aux changements.

- l'impact sur la santé de l'agriculteur qui englobe deux critères : le risque des pesticides sur la santé humaine qui tient compte de la quantité (IFT) et de la toxicité des produits appliqués (e-phy, base de données PPDB) et la pénibilité du travail (nombre d'heures et difficulté physique).

- l'interaction avec la société : avec la contribution à l'emploi (main-d'œuvre) et l'acceptabilité du produit.

L'ensemble des critères et indicateurs définis pour le volet sociale est illustré dans la figure 9.

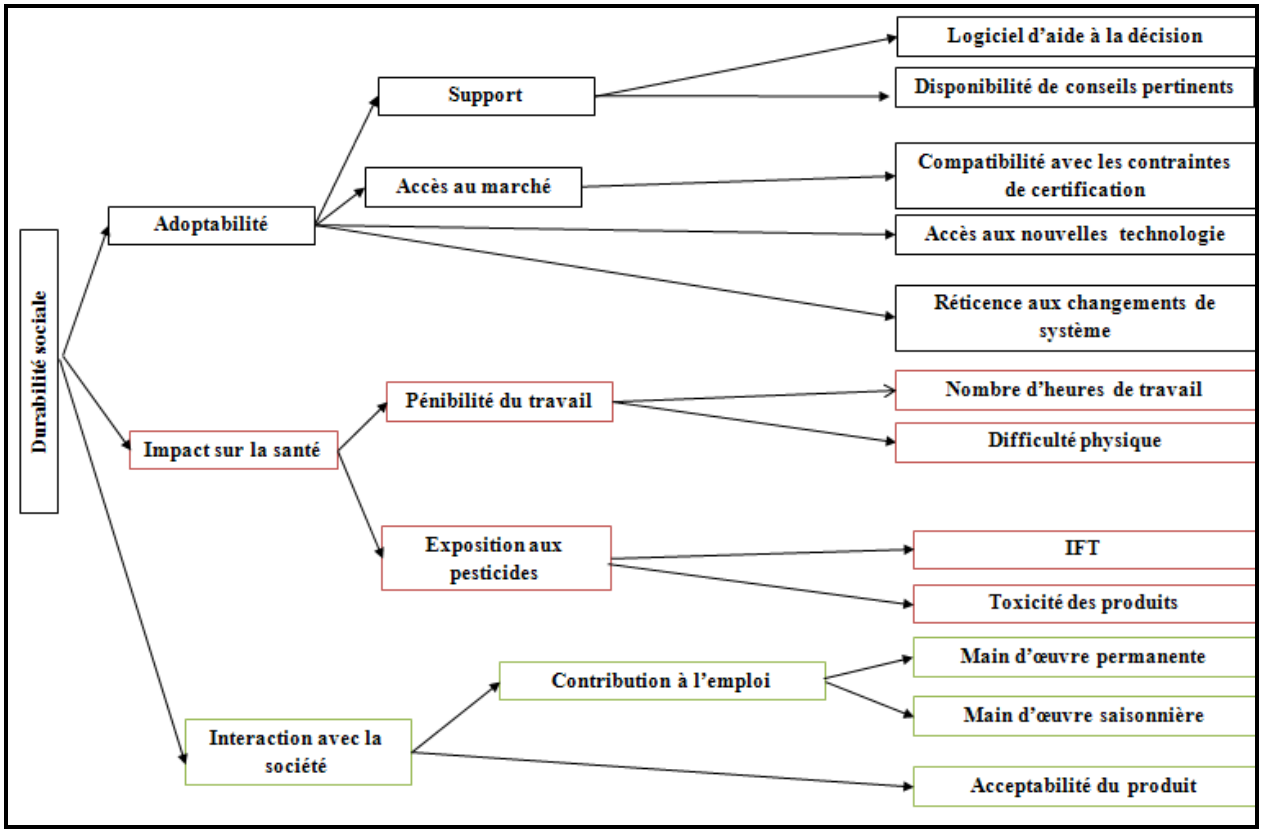


Figure 9. Arbre hiérarchique des critères sociaux de DEXiPM-Vigne

II. Fonction d'utilité et pondération

Les pondérations ont été attribuées à quelques critères où il était nécessaire de déterminer le poids de chaque indicateur dans l'évaluation.

Le tableau 9 montre que, pour la consommation d'énergie directe, on s'est basé sur les vitesses d'avancement ainsi que la fréquence de passages et de traitements Gaviglio (2010). Il en ressort que les traitements phytosanitaires ainsi que le passage de l'intercep sont les opérations qui ont le plus de poids dans l'évaluation de la consommation d'énergie (respectivement 33% et 29%). En termes de coût du fuel, c'est la même tendance avec 35% pour les traitements phytosanitaires et 27% pour l'utilisation de l'intercep.

Selon Andrieux (communication personnelle), ce sont les pratiques culturales et notamment l'enherbement qui jouent le plus de rôle dans le risque de ruissellement (60%) et dans la fertilité du sol (60%).

Un autre critère pondéré est le nombre d'heure de travail pour estimer les coûts de la main-d'œuvre. C'est les traitements phytosanitaires et la pratique de l'enherbement qui ont le plus de poids par rapport aux travaux en vert et la vendange.

Tableau 9. Fonctions d'utilité et pondération attribuée pour certains critères environnementaux et économiques

Critères	Poids	Références
Consommation d'énergie directe	20% Energie liée aux vendanges 33% Energie liée aux trt phyto 29% Passage de l'intercep 18% Travail du sol (disque/cadre)	Gaviglio et al. (2010)
Risque de ruissellement	40% Distance à un point d'eau 60% Pratiques culturales	Andrieux (communication personnelle)
Fertilité du sol	60% Enherbement 40% Restitution des sarments	Andrieux (communication personnelle)
Nombre d'heures de travail	5% Vendange 21% Traitement phytosanitaire 25% Travaux en vert 24% Eclaircissage 24% Ebourgeonnage 20% Effeuillage 20% Rognage 16% Epamprage 21% Enherbement	Meziere (communication personnelle)
Coût du fuel	19% Energie liée aux vendanges 35% Energie liée aux traitements phyto 27% Passage de l'intercep 19% Travail du sol (disque/cadre)	Meziere *et al.* (2009)

III. Application du modèle pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures viticoles

1. Evaluation des stratégies phytosanitaires actuelles

Il est à rappeler que le nombre de classes qu'on a adopté après plusieurs essais est : trois classes pour les critères de bases (faible, moyen, élevé), quatre classes pour les critères agrégés (faible, de faible à moyen, de moyen à élevé, élevé). Pour les trois attributs de durabilité environnementale, économique et sociale le nombre de classe retenu est cinq (très faible, faible, moyen, élevé, très élevé).

A. Evaluation de la durabilité de l'exploitation type 1

La durabilité totale de cette exploitation pour la stratégie existante est jugée moyenne. En effet, comme le montrent les résultats du modèle (figure 10 A), la durabilité environnementale est faible de même que la durabilité sociale. Tandis que la durabilité économique est jugée élevée.

Concernant l'impact sur les ressources, il est de faible à moyen aussi bien pour l'eau que pour l'air et le sol. Néanmoins pour la biodiversité (faune et flore), l'impact de ce système de culture est élevé (fig 10 B). La consommation d'énergie directe a été également évaluée, elle est moyenne à élevée.

Pour les résultats économiques de cette exploitation, les coûts de la main-d'œuvre sont faibles à moyens, la marge brute dégagée, quant à elle, est moyenne à élevée. Par conséquent, la profitabilité est jugée moyenne à élevée (figure 10 C). Si on analyse les résultats du volet social, l'impact sur la santé est élevée, l'adoptabilité du nouveau système est jugée moyenne à élevée tandis que l'interaction de l'exploitation avec la société est faible (figure 10 D).

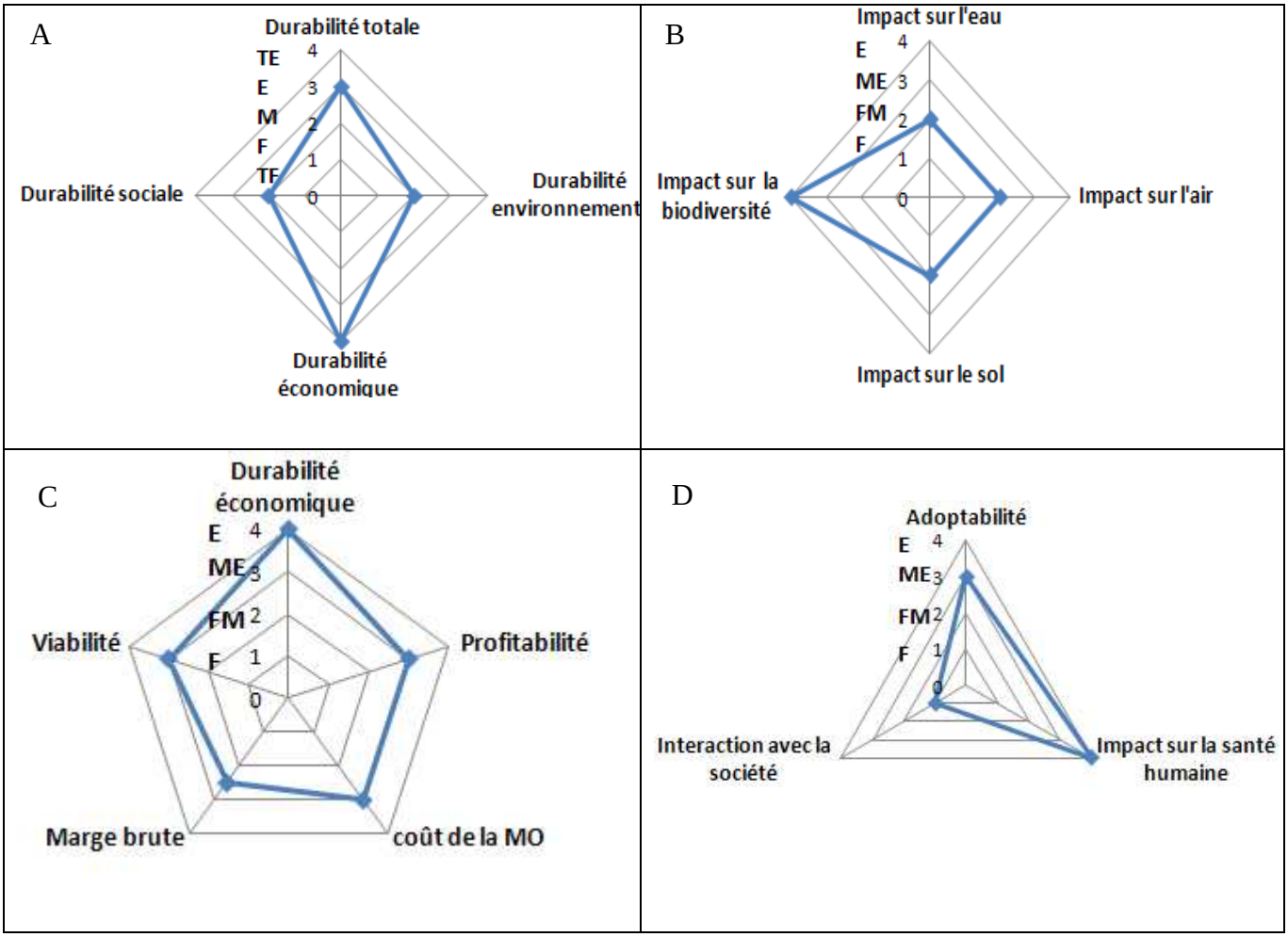


Figure 10. Résultat de l'évaluation de la situation actuelle de l'exploitation type 1

A : Dimensions de la durabilité ; B : Impact sur les ressources ;
C : Résultats économiques ; D : Résultats sociaux

B. Evaluation exploitation type 2

La durabilité totale de ce système de culture est moyenne. En effet, bien que la durabilité économique soit élevée, les durabilités environnementale et sociale sont faibles (figure 11A).

L'impact sur les ressources est de faible à moyen, comme le montre la figure 11 B, ce système a un impact faible à moyen sur l'air et le sol, moyen à élevé sur la ressource eau et élevé sur la biodiversité. La consommation d'énergie est jugée moyenne à élevée.

En ce qui concerne les résultats économiques, la marge brute est jugée moyenne à élevée. Les coûts de main-d'œuvre quant à eux sont faibles à moyens, ce qui donne une note moyenne à élevée pour la profitabilité. La viabilité est également jugée moyenne à élevée (figure 11 C).

Pour le volet social (figure 11 D), l'impact sur la santé humaine est élevé, l'interaction avec la société est de faible à moyenne alors que l'adoptabilité du nouveau système est moyenne à élevée.

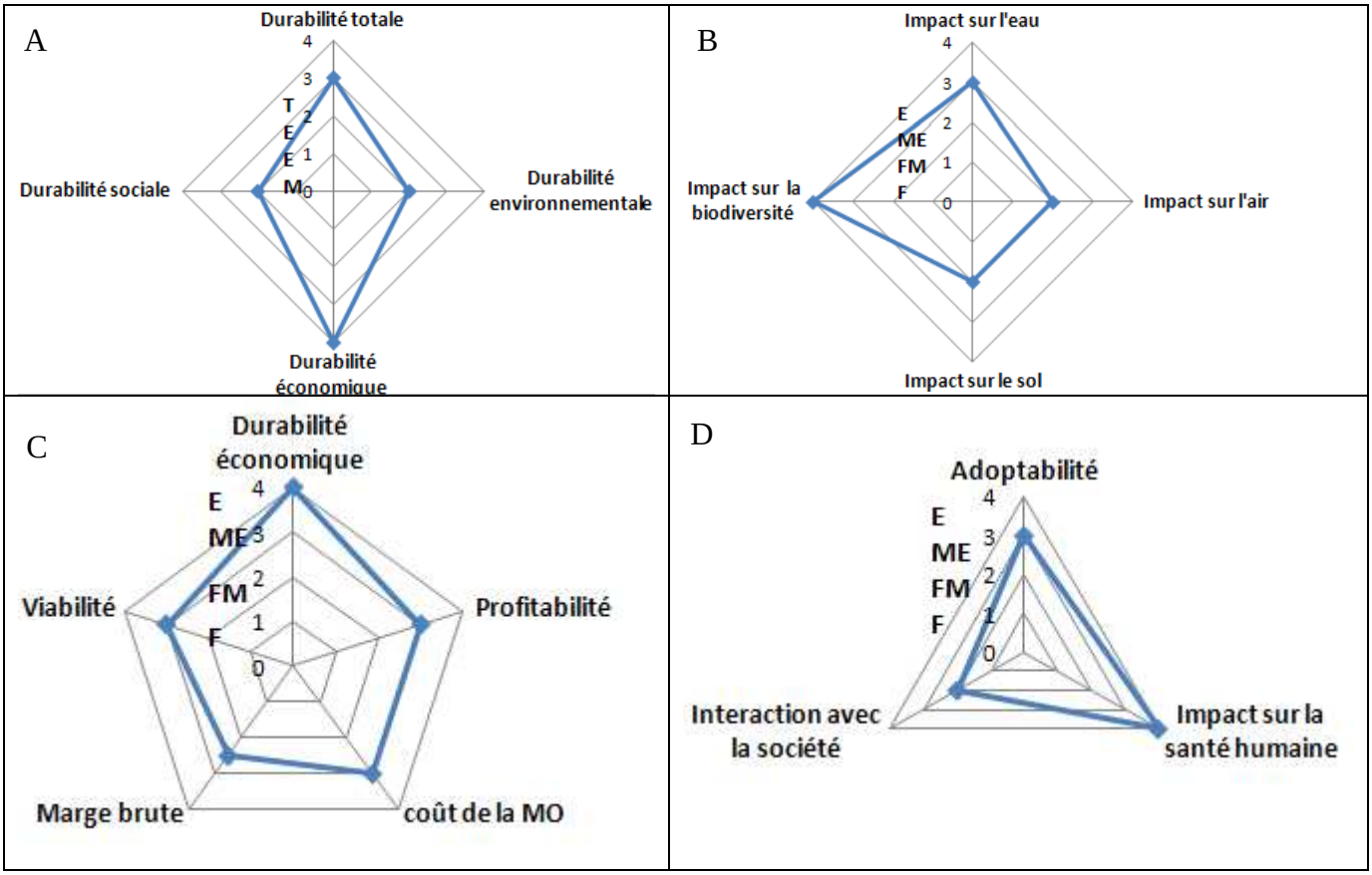


Figure 11. Résultat de l'évaluation de la situation actuelle de l'exploitation type 2
A : Dimensions de la durabilité ; B : Impact sur les ressources ;
C : Résultats économiques ; D : Résultats sociaux

2. Evaluation des stratégies alternatives économes en produits phytosanitaires

La définition de nouvelles stratégies phytosanitaires a été réalisée en collaboration avec les viticulteurs concernés par l'évaluation en se basant sur des fiches techniques.

Ceux-ci devaient choisir parmi les leviers proposés ceux qu'ils sont capables d'envisager. On s'est rapidement rendu compte que les changements envisagés par les viticulteurs étaient restreints à cause de l'investissement qui est souvent important par rapport à leur marge brute mais aussi à cause de la perte éventuelle de rendement due à certaines pratiques, comme la concurrence pour les ressources entre la vigne et l'enherbement.

Etant donné que les propositions envisagées par les viticulteurs, telles que le désherbage mécanique, ne vont pas engendrer un changement conséquent au niveau du modèle par rapport à la situation actuelle, on a décidé de tester des scénarii où on tient compte de plusieurs leviers en même temps. D'autant plus que pour cette étape, il s'agit de tester le modèle et sa capacité à différencier différents systèmes.

Trois stratégies phytosanitaires ont été proposées :

- A1 : Enherbement permanent tous les IR

  Désherbage mécanique sur le rang (Intercep)
- A2 : Enherbement 1/3 IR

  Désherbage mécanique sur le rang (Intercep)

  Désherbage mécanique 2/3 IR (cadre)

  Effeuillage mécanique et bandes enherbées
- A3 : Enherbement permanent semé 2/3 IR

  Désherbage chimique sur le rang

  Désherbage mécanique 1/3 IR (cadre)

  Ebourgeonnage + bandes enherbées

A. Evaluation de l'exploitation type 1

Pour cette exploitation, la durabilité totale reste moyenne pour toutes les stratégies phytosanitaires sauf pour la stratégie A3. En effet, comme le montre la figure 12, la durabilité environnementale, 'faible' pour la situation actuelle, est 'moyenne' pour les stratégies A1 et A2 et atteint le niveau 'élevée' pour la stratégie A3.

La durabilité économique est la plus 'élevée' aussi au niveau du 3ème scénario.
La durabilité sociale quant à elle est 'faible' au niveau des différents scénarios sauf pour A3 où elle est moyenne.

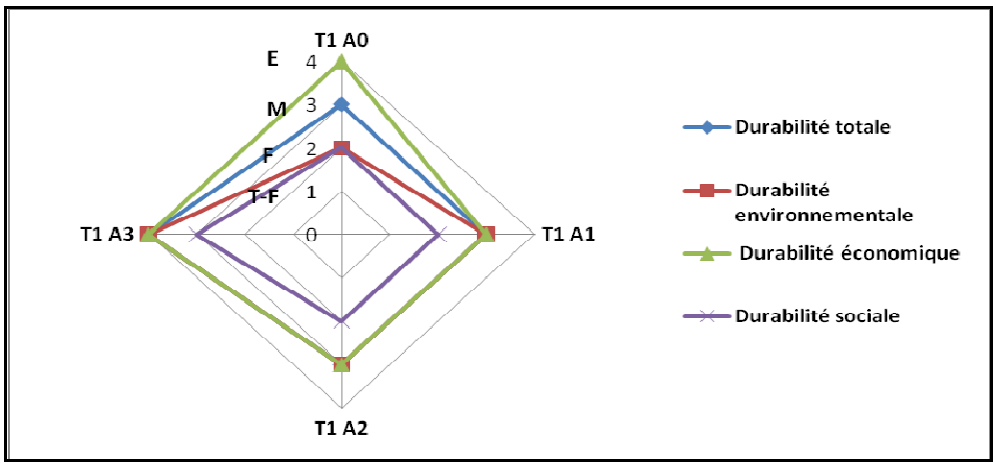


Figure 12. Evaluation de la durabilité totale, environnementale, économique et sociale pour les 3 stratégies alternatives pour l'exploitation type 1

- **Durabilité environnementale**

La consommation d'énergie directe reste 'moyenne à élevée' pour les stratégies A1 et A2 tandis qu'elle diminue au niveau du 3ème scénario.

Concernant l'impact sur les ressources, l'impact sur l'eau est 'faible à moyen' pour toutes les situations. L'impact sur l'air est jugé le plus 'faible' au niveau de la stratégie A3 tandis que pour le sol les trois systèmes alternatifs ont un impact 'faible'. Pour la biodiversité, les trois stratégies alternatives sont plus favorables à la faune et la flore par rapport à la situation actuelle (figure 13).

Ces résultats expliquent le fait que la durabilité environnementale la plus élevée s'affiche au niveau de la 3ème stratégie phytosanitaire alternative.

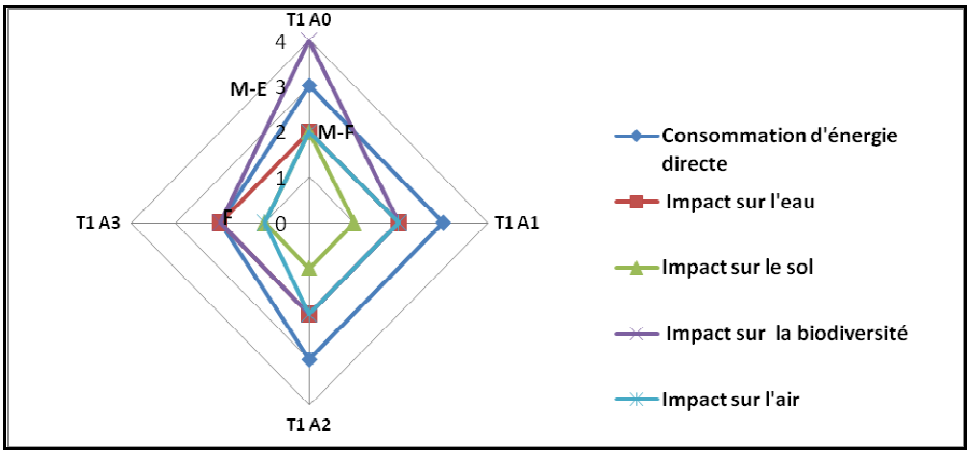


Figure 13. Impact des stratégies alternatives sur la consommation directe de l'énergie et sur les ressources pour l'exploitation type 1

- **Durabilité économique**

Comme l'illustre la figure 14, la note de durabilité au niveau de la profitabilité économique n'a pas changé au niveau des trois scénarii par rapport à la situation actuelle. Ceci est largement expliqué par la marge brute qui est évaluée 'moyenne à élevée' pour toutes les stratégies.

La viabilité de l'exploitation diminue pour les stratégies A1 et A2 où elle est 'faible à moyenne' tandis qu'elle est 'moyenne à élevée' pour la stratégie A3. Quant à l'autonomie de l'exploitation, elle est 'faible à moyenne' pour toutes stratégies sauf pour la dernière où elle est plus supérieure et ceci est expliqué par une dépendance aux pesticides plus 'faible'.

La stratégie alternative A3 est par conséquent la plus durable économiquement.

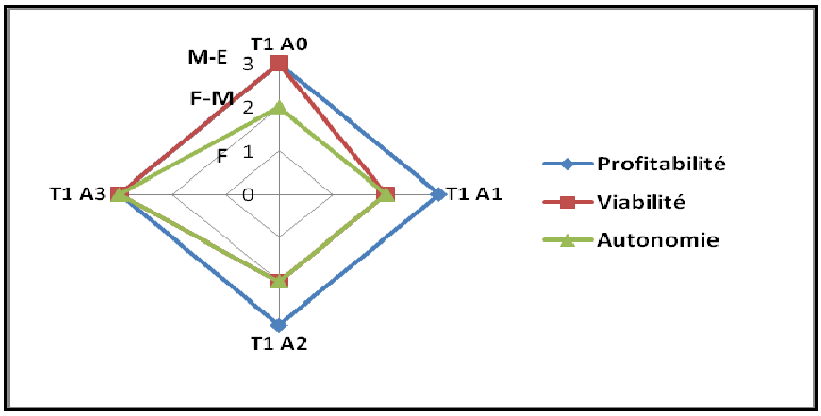


Figure 14. Impact des stratégies alternatives sur les critères économiques pour l'exploitation type 1

- **Durabilité sociale**

Pour les critères sociaux, l'impact du système de culture sur la santé humaine est 'élevé' pour la stratégie A1 et A2, tandis qu'il est 'moyen' pour la 3ème alternative. L'adoptabilité du système est 'moyenne' pour les trois systèmes. Quant à l'interaction avec la société, elle reste 'faible' pour les trois scénarii (Figure 15).

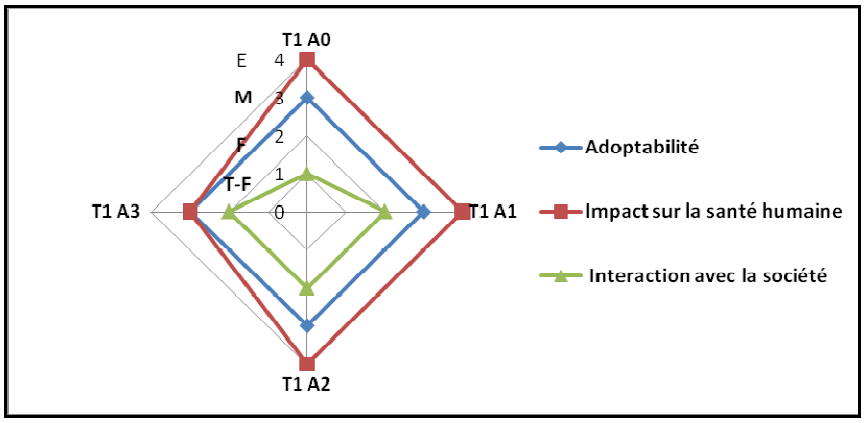


Figure 15. Impact des stratégies alternatives sur les critères sociaux pour l'exploitation type 1

B. Evaluation de l'exploitation type 2

L'évaluation des trois stratégies alternatives de l'exploitation type 2, montre que la durabilité totale est 'élevée' pour les stratégies A1 et A3 et 'moyenne' pour la stratégie A1.

En effet, comme l'illustre la figure 16, la durabilité environnementale est 'élevée' pour les stratégies A1 et A3 tandis qu'au niveau de la stratégie A2, elle est moyenne.

La durabilité sociale reste 'faible' pour A1 et A2 mais augmente au niveau de la 3ème alternative. Concernant la durabilité économique, elle est jugée 'élevée' pour l'ensemble des stratégies comme pour la situation actuelle.

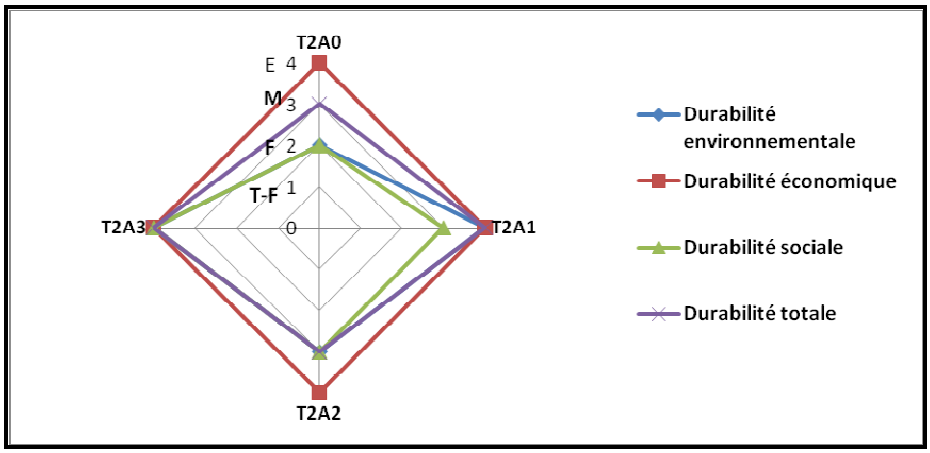


Figure 16. Evaluation de la durabilité totale, environnementale, économique et sociale pour les 3 stratégies alternatives pour l'exploitation type 2

- **Durabilité environnementale**

Au niveau du volet environnemental, la consommation de l'énergie directe est 'faible à moyenne' pour les alternatives A1 et A3 tandis qu'elle est 'moyenne à élevée' pour l'alternative A2. Concernant les ressources naturelles, pour les trois alternatives, l'impact sur l'eau a diminué par rapport à la situation actuelle, il est 'faible à moyen', de même pour l'impact sur le sol qui est 'faible'.

Les trois alternatives ont un impact 'faible' à moyen sur la biodiversité contrairement au système actuel dont l'impact est 'élevé' sur la faune et la flore (figure 17).

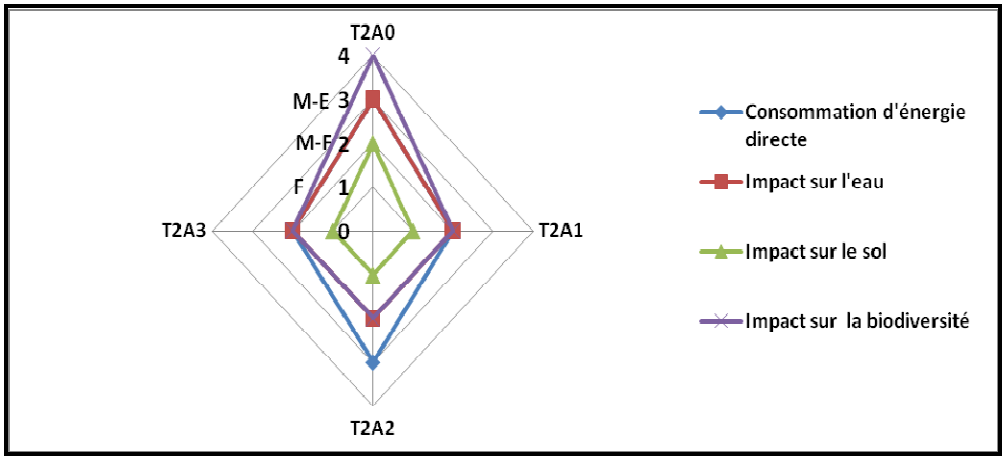


Figure 17. Impact des stratégies alternatives sur la consommation directe de l'énergie et sur les ressources pour l'exploitation type 2

➢ **Durabilité économique**

Pour le volet économique, la profitabilité et la viabilité de cette exploitation sont 'moyennes à élevées' pour toutes les stratégies alternatives. L'autonomie est 'faible à moyenne' au niveau des stratégies A1 et A2, elle est 'moyenne à élevée' pour la stratégie A3 (figure 18).

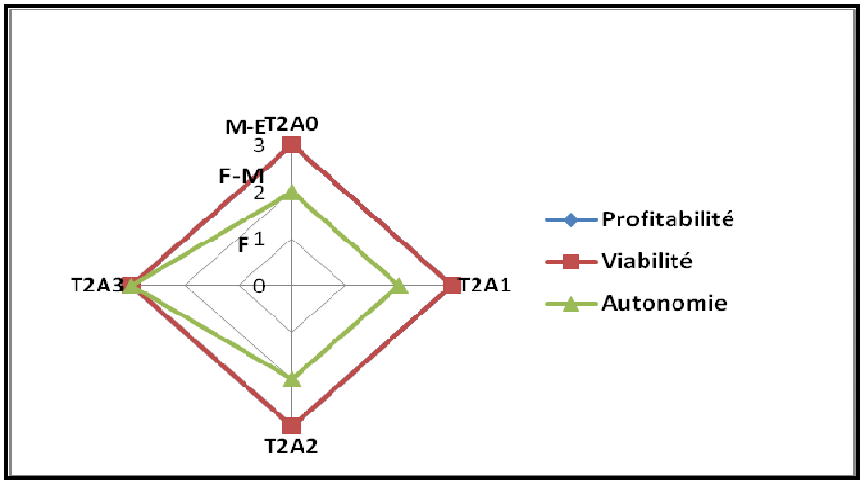


Figure 18. Impact des stratégies alternatives sur les critères économiques pour l'exploitation type 2

➢ **Durabilité sociale**

Concernant les critères sociaux, l'impact sur la santé humaine est 'élevé' pour les stratégies A1 et A2 mais il diminue pour l'alternative A3.

L'adoptabilité et l'intéraction avec la société augmentent par rapport à la situation actuelle de l'exploitation et sont réspectivement 'élevée' et 'moyenne' pour les trois alternatives (figure 19).

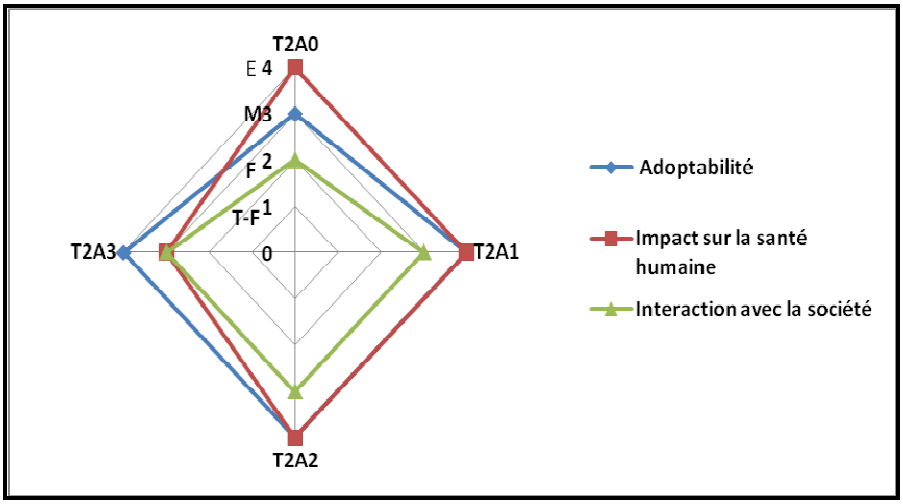


Figure 19. Impact des stratégies alternatives sur les critères sociaux pour l'exploitation type 2

IV. Validation du modèle DEXiPM-vigne

1. Validation du modèle par l'utilisateur

L'arbre de décision de DEXiPM-vigne est clair. Tous les indicateurs choisis, aussi bien environnementaux, économiques que sociaux, sont qualitatifs, faciles à renseigner et rapidement compréhensibles. Ceci apparait lors des entretiens avec les viticulteurs pendant lesquels il était assez facile d'expliquer le principe et le fonctionnement du modèle.

L'utilisation de DEXiPM-vigne a permis de dégager quelques remarques quant à la pertinence des critères et indicateurs choisis :

Pour **le volet environnemental**, plusieurs indicateurs qui ne changent pas de note d'évaluation d'un système à un autre ont été identifiés. Deux catégories ont été distinguées :

- un ensemble d'indicateurs qui, logiquement, ne changent pas de note de durabilité pour le système actuel et les différents systèmes alternatifs tels que : les propriétés liés aux pesticides (volatilité, mobilité, toxicité et écotoxicité), la pente, la distance à un point d'eau. Ces indicateurs correspondent aux caractéristiques structurelles du système décrit.
- un ensemble d'indicateurs qui, de façon inattendue, gardent la même note d'évaluation pour des systèmes alternatifs différents. Ces indicateurs sont : les pratiques culturales pour le lessivage et le ruissellement, la consommation d'énergie liée aux vendanges, le mode de traitement pour la dérive des produits phytosanitaires, l'enherbement et la restitution des sarments pour le critère fertilité du sol.

Ces indicateurs doivent être revus ainsi que les classes attribuées. En effet, quelques propositions ont été faites lors de l'entretien avec S. Tourrière pour éclater certaines de ces classes dans le but de discriminer plus les différents systèmes notamment les différentes modalités d'enherbement (cf. Chap. IV. Partie IV.3.).

Au niveau **du volet économique**, le critère de profitabilité garde toujours la même note d'évaluation pour des systèmes qui sont pourtant très différents et qui engagent des coûts supplémentaires importants. Bien que les coûts de production soient bien estimés à travers des indicateurs pertinents, l'évaluation de la valeur de production l'est beaucoup moins. Ceci est dû essentiellement aux indicateurs rendement et prix de vente dont les classes sont renseignées par le viticulteur. En effet, en viticulture, il existe plusieurs types de cépages avec des objectifs de rendement différents, pour un même bassin de production voire au sein d'une même exploitation viticole, ce qui rend l'élaboration de classes adéquates et de seuils difficile. De même pour le prix de vente où il est possible de tenir compte du prix de la bouteille ou bien du prix de vente du raisin.

Une suggestion pour améliorer la sensibilité du modèle a été testée. Elle consiste à éliminer de l'arbre de décision tous les critères dont la note d'évaluation ne change pas pour différents scénarii. Ceci a provoqué un changement au niveau de la note de durabilité pour les critères agrégés mais il n'y a pas vraiment d'amélioration de la sensibilité.

2. Validation du modèle avec les viticulteurs

Les deux viticulteurs se rejoignent sur le fait que l'arbre de décision de DEXiPM-vigne est complet, clair et facile à comprendre. Les deux ont approuvé le choix des critères et trouvent l'arbre de décision complet, prenant en compte toutes les composantes et les contraintes environnementales, économiques et sociales en viticulture.

A. Validation du choix des classes

Le tableau 10 montre l'évaluation faite par le viticulteur en comparaison avec celle faite par le modèle pour les critères de base et ceci pour les résultats relatifs à la situation actuelle de l'exploitation.

L'analyse du tableau montre que pour les critères de base, 70% des critères évalués par le viticulteur sont conformes à ceux évalués par le modèle. Ce résultat est très encourageant étant donné que l'estimation du viticulteur correspond pour la majorité des cas au choix de classes et seuil qu'on a fait.

Pour 18% des critères, il y a une différence d'évaluation d'une note et dans 11% des cas, c'est une différence de 2 notes d'évaluation. Les trois indicateurs concernés sont les pratiques culturales liées au ruissellement et au lessivage ainsi que la présence de ZER. Cette différence d'évaluation est liée au fait que la définition que donne le viticulteur à certaines notions, comme l'impact de l'enherbement sur le lessivage et le ruissellement, est différente de celle que nous avons envisagée. En effet, on considère que l'enherbement en général diminue le ruissellement et favorise le lessivage (Andrieux, 2006).

Le viticulteur juge que la présence de ZER est élevée étant donné qu'il pratique un enherbement naturel d'hiver sur 25% de la surface, alors que cela nous semble faible.

Tableau 10. Validation des classes et des règles de décision pour l'agrégation des critères par le viticulteur de l'exploitation type 2 (critères de bases)

	Critères	Evaluation du modèle	Evaluation viticulteur	Ecart de note
Durabilité environnementale	Consommation d'énergie liée aux vendanges	Moyenne	Moyenne	0
	Consommation d'énergie liée à l'utilisation de l'intercep	Faible	Faible	0
	Consommation d'énergie liée au travail du sol : outils à disques et cadre ou à la tonte	Elevée	Elevée	0
	Consommation d'énergie liée aux traitements phyto	Elevée	Elevée	0
	Pratiques culturales (ruissèlement)	Elevée	faible	2
	Mode de traitement	Moyen	Moyen	0
	0IFT	Elevé	Elevé	0
	Pratiques culturales (Lessivage)	Faible	Elevé	2
	Pratiques culturales (Erosion)	Elevé	Elevé	0
	Enherbement	Faible	Faible	0
	Restitution sarments	Elevée	Moyen	1
	IFT fong et ins	Elevé	Elevé	0
	Zone écologique réservoir	Faible	Elevé	2
	IFT herb	Moyen	Moyen	0
	Enherbement (Diversité spécifique)	Faible	Faible	0
Durabilité économique	Vendange	Moyen	Faible	1
	Travail du sol et désherbage mécanique	Elevé	Elevée	0
	Pulvérisation	Moyen	Moyen	0
	Ebourgeonnage	-	-	
	Effeuillage	-	-	
	Rognage /Ecimage	Moyen	Faible (70h)	1
	Epamprage	Elevé	Elevé	0
	Enherbement	Faible	Faible	0
	Potentiel de rdt	Moyen	Moyen	0
	Prix de vente	Moyen	Moyen	0
Durabilité sociale	Nombre d'heures de travail	Elevé	Elevée	0
	Difficulté physique	Moyenne	Elevée	1
	Main-d'œuvre permanente	Faible	Faible	0
	Main-d'œuvre saisonnière	Moyenne	Elevée	1

NB : En rouge, les notes négatives pour le critère évalué ; en vert, les notes positives pour le critère évalué

B. Validation des règles d'agrégation

Le tableau 11 montre l'évaluation faite par le viticulteur en comparaison avec celle faite par le modèle pour les critères agrégés de 3ème niveau pour la situation actuelle de l'exploitation.

Pour 8 critères agrégés sur 15, l'évaluation attribuée par le viticulteur est conforme à celle du modèle. Elle est différente d'une note pour 3 critères sur 15 tel est le cas de la consommation d'énergie, qui est 'moyenne à élevée' pour le modèle mais jugée élevée par le viticulteur. Ceci est dû à la difficulté chez le viticulteur d'avoir la nuance entre les différentes notes.

Pour 3 critères, il y a deux notes de différence. Tandis qu'un seul critère diffère de trois notes.

L'écart le plus important est donc noté pour l'impact du système actuel sur la faune. Le viticulteur, qui appartient à un groupement de lutte raisonnée, fait des observations d'insectes dans ces parcelles et remarque que le nombre de certains, comme les coccinelles, augmente. Cependant, il est nécessaire de s'intéresser aux différents auxiliaires et aussi aux pollinisateurs. Le modèle juge que les matières actives utilisées ont un impact élevé négatif sur la faune utile de la viticulture.

Tableau 11. Validation des classes et des règles de décision pour l'agrégation des critères par le viticulteur de l'exploitation type 2 (critères agrégés de 3ème niveau)

	Critères	Evaluation du modèle	Evaluation viticulteur	Ecart de note
Durabilité environnementale	Consommation d'énergie directe	M-E	E	1
	Impact sur l'eau	M-E	M-E	0
	Impact sur l'air	F-M	Faible	1
	Impact sur le sol	F-M	M-E	1
	Impact sur la faune	E	Faible	3
	Impact sur la flore	E	E	0
Durabilité économique	Coût de la MO	F-M	E	2
	Coût de production	F-M	E	2
	Valeur de production	M	M	0
	Dépendance aux pesticides	E	E	0
	Efficience économique	M	M	0
	Investissement	M-E	F	2
Durabilité sociale	Adoptabilité de nouveaux systèmes	M-E	M	0
	Impact sur la santé	E	E	0
	Interaction avec la société	F-M	F-M	0

NB : En rouge, les notes négatives pour le critère évalué ; en vert, les notes positives pour le critère évalué

C. Validation de l'évaluation du modèle

L'étape suivante consiste dans un premier temps à discuter des classes choisies. Dans un deuxième temps, en tenant en compte de ces classes, on évalue les critères de base (tableau 12) et les critères agrégés de 3ème niveau (tableau 13) pour l'une des stratégies alternatives. On a choisi de faire l'exercice sur la 3ème alternative : Enherbement permanent semé 2/3 IR + désherbage chimique sur le rang + désherbage mécanique 1/3IR (cadre) + ébourgeonnage + bandes enherbées.

L'analyse du tableau 13 montre que plus de la moitié des critères de base évalués par le viticulteur (65,5%) sont conformes à l'évaluation du modèle, le reste différant d'une note d'évaluation. Pour le critère 'pratiques culturales' (ruissellement et lessivage), la même ambigüité persiste et engendre la différence d'évaluation.

Pour les autres critères, on remarque toujours la même tendance soit de diminution ou d'augmentation de la note d'évaluation entre le modèle et le viticulteur avec une différence d'intensité d'appréciation.

En effet, pour la consommation d'énergie liée au travail du sol qui est élevée pour le système actuel, le modèle donne une note moyenne tandis que pour le viticulteur elle est plutôt faible pour le système alternatif. Pour l'impact de l'enherbement sur la diversité spécifique qui est faible pour le système actuel, il est évalué moyen par le modèle et élevé par le viticulteur.

Tableau 12. Validation des classes et des règles de décision pour l'agrégation des critères par le viticulteur de l'exploitation type 2 (critères de bases)

	Indicateurs environnementaux	Evaluation du modèle	Evaluation viticulteur	Ecart de note
Durabilité environnementale	Consommation d'énergie liée aux vendanges	Moyen	Moyenne	0
	Consommation d'énergie liée à l'utilisation de l'intercep	Faible	Faible	0
	Consommation d'énergie liée à au travail du sol : outils à disques et cadre ou à la tonte	Moyenne	Faible	1
	Consommation d'énergie liée aux traitements phyto	Moyen	Moyen	0
	Pratiques culturales (ruissellement)	Faible	Moyenne	1
	Mode de traitement	Faible	Moyen	1
	IFT	Moyen	Elevé	1
	Pratiques culturales (lessivage)	Elevé	Moyen	1
	Pratiques culturales (Erosion)	Faible	Faible	0
	Enherbement	Elevé	Elevé	0
	Restitution sarments	Elevée	Elevée	0
	IFT fongicide et insecticide	Moyen	Elevé	1
	Zone écologique réservoir	Elevée	Elevée	0
	IFT herbicide	Moyen	Moyen	0
	Enherbement (Diversité spécifique)	Moyen	Elevé	1
Durabilité économique	Vendange	Moyen	Faible	1
	Travail du sol et désherbage mécanique	Moyen	Moyen	0
	Pulvérisation	Moyen	Moyen	0
	Ebourgeonnage	Moyen	Moyen	0
	Effeuillage	-	-	
	Rognage /Ecimage	Moyen	Faible	1
	Epamprage	Elevé	Elevé	0
	Enherbement	Moyen	Moyen	0
	Potentiel de rdt	Moyen	Moyen	0
	Diminution du rendement	Faible	Moyen	1
	Prix de vente	Moyen	Moyen	0
Durabilité sociale	Nombre d'heures de travail	Elevé	Elevé	0
	Difficulté physique	Elevé	Elevée	0
	Main-d'œuvre permanente	Faible	Faible	0
	Main-d'œuvre saisonnière	Elevée	Elevée	0

NB : En rouge, les notes négatives pour le critère évalué ; en vert, les notes positives pour le critère évalué

En ce qui concerne les critères agrégés (tableau 13), pour un peu plus de la moitié (8/15), la note d'évaluation du modèle et celle du viticulteur est identique. Pour 6 critères sur 15, elle est différente d'une note et un seul critère diffère de deux notes d'évaluation. Cette différence d'évaluation est due à la différence qui existait déjà pour la situation actuelle.

Tableau 13. Validation des classes et des règles de décision pour l'agrégation des critères par le viticulteur de l'exploitation type 2 (critères agrégés de 3ème niveau)

	Critères	Evaluation du modèle	Evaluation viticulteur	Ecart de note
Durabilité environnemen	Consommation d'énergie directe	F-M	M-E	1
	Impact sur l'eau	F-M	F-M	0
	Impact sur l'air	F	F	0
	Impact sur le sol	F	F	0
	Impact sur la faune	M	F	1
	Impact sur la flore	M	F	1
Durabilité économique	Coût de la MO	F-M	E	1
	Coût de production	F-M	E	1
	Valeur de production	M-E	M	0
	Dépendance aux pesticides	M	E	1
	Efficience économique	M	M	0
	Investissement	M-E	F	2
Durabi lité	Adoptabilité de nouveaux systèmes	E	E	0
	Impact sur la santé	M-E	M-E	0
	Interaction avec la société	M	M	0

NB : En rouge, les notes négatives pour le critère évalué ; en vert, les notes positives pour le critère évalué

3. Validation du modèle par les experts

L'exercice a été réalisé uniquement avec S. Tourrière, animatrice de Terra Vitis®. Durant cet entretien, on a pu revoir les critères environnementaux, économiques et sociaux.

L'animatrice de l'association de Terra Vitis® a approuvé les autres critères pour l'ensemble des dimensions de durabilité. Cet entretien nous a aussi permis de vérifier la pertinence des classes choisies et plusieurs suggestions ont été proposées pour améliorer la sensibilité du modèle.

Pour les indicateurs environnementaux, les classes attribuées pour le nombre de traitements ont été revues. Selon S. Tourrière, ceci dépend énormément du mode de traitement de l'oïdium et du mildiou qui sont parfois couplés. La limite inférieure de 9 traitements (voir tableau 4) lui semble très faible. Elle propose plutôt 11 traitements pour la classe faible.

De même pour l'IFT total, il est important de tenir compte de la pression parasitaire de l'année, pour déterminer les seuils. Ainsi, un IFT inférieur à 7 est plutôt très faible dans la région pour 2009. S. Tourrière propose donc les classes suivantes : un IFT en dessous de 10 est considéré comme faible

tandis que la limite supérieure serait un IFT de 17. Une autre proposition est de différencier les IFT fongicide, insecticide et herbicide pour avoir plus de précision.
Pour les pratiques culturales qui ont un impact sur le ruissellement et le lessivage, il semble qu'il serait plus judicieux d'éclater la classe moyenne : enherbement naturel avec herbicide post levée. En effet, il serait aussi intéressant d'intégrer les herbicides prélevés pour prendre en compte leurs toxicités respectives.

Le mode de traitement est également à discuter. Beaucoup de viticulteurs utilisent désormais les appareils face par face et, par conséquent, la classe moyenne risque d'englober le plus grand nombre. S. Tourrière propose de revoir cet indicateur avec un conseiller de machinisme qui pourrait éventuellement proposer une classification plus adéquate.

En ce qui concerne les ZER, il est important selon l'animatrice régionale de Terra vitis de pondérer en fonction de la surface de l'exploitation.

L'animatrice de Terra Vitis® a également relevé l'absence de la fertilisation ; selon elle, il est vrai que celle-ci est peu fréquente à cause du contexte économique difficile des viticulteurs mais il est important de la prendre en considération. Sur les conditions pédo-climatiques, elle a approuvé le fait que, si on travaille toujours sur la même exploitation pour les stratégies alternatives, il est possible de ne pas prendre en compte ces données structurelles de l'exploitation qui ne varient pas dans le cas d'une stratégie de protection alternative.

Pour le volet économique, une seule classe a été discutée qui est le nombre de tontes pour l'indicateur enherbement au niveau du critère coût de main-d'œuvre (voir tableau 9). La classe élevée était fixée à 3 tontes, S.Tourière propose plutôt 2 tontes comme limite maximum.

Pour le volet social, la totalité des critères a été approuvée.

Chapitre V. Discussion

Dans cette partie, il s'agit d'identifier les différents points à améliorer au niveau de la construction du modèle DEXiPM-vigne (choix des critères, indicateurs et pondération). Ensuite, nous discuterons de la démarche participative qui implique les viticulteurs et les experts notamment pour la validation du modèle et finalement nous aborderons la mise en œuvre du modèle.

I. Construction du modèle

1. Choix des critères, des indicateurs

A. Critères et indicateurs environnementaux

L'analyse des indicateurs choisis montre que ceux-ci sont faciles à renseigner et à mettre en œuvre étant donné qu'il n'y a pas de calcul complexe qui nécessiterait des informations parfois inaccessibles. Néanmoins, quelques remarques se dégagent :

- L'absence de prise en compte au niveau de la dimension environnementale **des conditions climatiques**, une remarque qui ressort lors des réunions de concertation avec les équipes qui travaillent sur le logiciel DEXi (Annexe VI). La pluviométrie en particulier intervient au niveau du ruissellement, du lessivage et de l'érosion. Le climat peut déterminer également le choix de systèmes alternatifs, notamment la pratique de l'enherbement. Si on souhaite évaluer des systèmes de culture dans plusieurs régions subissant des conditions climatiques différentes, il est nécessaire d'intégrer le facteur climat. La difficulté serait donc d'estimer les paramètres climatiques et d'avoir des seuils pertinents qui puissent prendre en compte la variabilité importante entre les régions.
- **Utilisation des ressources :** l'évaluation de la consommation d'énergie pour les travaux en vert comme l'effeuillage, l'ébourgeonnage, l'épamprage et l'écimage, qui sont des opérations la plupart du temps mécanisées, n'a pas pu être réalisée du fait de l'absence d'études sur ces paramètres. Ces pratiques culturales constituent des solutions alternatives qui peuvent permettre de réduire le recours aux fongicides, il est donc nécessaire de pouvoir évaluer la consommation en énergie qui leur est associée. Selon Gaviglio (communication personnelle), une étude sera réalisée pour estimer la consommation énergétique de certaines de ces travaux en vert.
- **Impact sur les ressources :**

- L'IFT est un paramètre important pour l'évaluation aussi bien environnementale (impact sur les ressources et sur la biodiversité), que sociale (impact sur la santé humaine). Les IFT fongicides, herbicides et insecticides doivent être différenciés pour avoir plus de précision. Les classes attribuées sont aussi à revoir, essentiellement pour l'IFT fongicide.

Concernant l'estimation de l'IFT et du rendement pour des systèmes moins consommateurs de pesticides, l'IMV (indice de maitrise de la vigueur) semble être une approche intéressante. Néanmoins, les courbes ont été réalisées à partir de données nationales moyennes issues de l'étude ECOPHYTO R&D. Ces données englobent des systèmes de productions différents du point de vue de la conduite phytosanitaire et des objectifs de rendement. On n'observe pas les mêmes corrélations en utilisant des données parcellaires (Meziere et al., 2009). Il faudrait donc explorer plus en détail les relations entre techniques prophylactiques, développement végétatif, expression des maladies et fréquence de traitements et rendement. En effet, certains auteurs comme Valdes Gomez *et al.* (2008) montrent qu'il existe une corrélation entre certaines maladies cryptographiques notamment l'oïdium et le botrytis et la croissance de la vigne. On peut imaginer donc que la diminution de la vigueur de la vigne à travers les mesures prophylactiques peut avoir un effet conséquent sur le développement de ces pathogènes et également un effet sur l'élaboration du rendement. Il est donc nécessaire d'étudier ces processus et de trouver des corrélations permettant d'évaluer de façon quantitative la diminution des maladies cryptogamiques suite à l'introduction de nouvelles pratiques culturales et par conséquent la diminution des traitements phytosanitaires.

B. Critères et indicateurs économiques

Pour le volet économique, le critère **'marge brute'** garde la même note d'évaluation (de moyenne à élevée) quel que soit le scénario testé et même pour la situation actuelle que les viticulteurs jugent moyenne à faible. Par conséquent, on ne note pas de changement au niveau de la profitabilité économique. Nous avons choisi de renseigner le rendement et le prix de vente en nous basant sur l'estimation du viticulteur et la moyenne de la région et ceci pour évaluer la marge brute. Cette dernière peut être directement calculée ce qui pourrait rendre l'évaluation de la situation actuelle plus pertinente. Néanmoins la sensibilité du modèle pour différents scénarii ne va probablement pas s'améliorer car le fait de changer de pratique culturale ne valorise pas le prix de vente qui reste souvent le même pour des viticulteurs en cave coopérative. Quant au rendement, nous avons intégré un indicateur de perte de rendement renseigné grâce à l'IMV (cf.). Il serait aussi intéressent d'explorer une notion de risque de rendement prenant en compte les conditions climatiques et la pression parasitaire.

Au niveau des coûts de production, la confusion sexuelle n'est pas une pratique courante, dans notre cas, il est envisageable de l'exclure de l'évaluation pour améliorer l'évaluation néanmoins dans d'autres régions comme la Champagne ; c'est une alternative qui est mise en avant d'où l'intérêt de garder cet indicateur.

2. Choix des classes

De façon générale, pour améliorer la sensibilité du modèle, il est préférable d'augmenter le nombre de classes de certains critères de base pour affiner d'avantage l'évaluation :

- **l'enherbement** sert d'indicateur sur le ruissellement et le lessivage. La classe moyenne (enherbement naturel + herbicide de post levée) et la classe faible (Enherbement permanant semé/enherbement naturel + travail sol superficiel) pourraient être éclatées de façon à obtenir 4 classes. Pour cela, il est nécessaire de solliciter à nouveau des experts en enherbement.
- pour **les ZER**, trois classes ont été attribuées (faible, moyen, élevé) selon la présence d'enherbement, de bandes enherbées et de haies. Pour cet indicateur, il est préférable donc d'attribuer un nombre de classes égal à quatre. En effet, il est important de prendre en compte la proportion de ZER par rapport à la surface totale de l'exploitation, renseigner plus précisément ces classes pour pouvoir évaluer de façon à ce que, pour toutes les modalités d'enherbement et en tenant en compte de l'importance de ces zones par rapport à la surface, on puisse clairement décider de la note à attribuer.
- les classes de l'**IFT** total sont à revoir aussi du moment où l'expert juge que les valeurs attribuées sont trop faibles. Les seuils proposés sont : 10 pour l'IFT faible et 17 pour un IFT élevée. Ces seuils sont aussi à contextualiser selon les régions.

Il est aussi nécessaire de procéder à une analyse de sensibilité du modèle qui est un moyen plus rigoureux pour le valider. L'analyse de sensibilité a été faite pour le modèle DEXiPM grande culture (Gabriele Fortino), à l'issue de ce stage un travail d'analyse des arbres DEXi pour les différentes filières sera réalisé. En effet, la question de la contextualisation ne s'est pas beaucoup posée dans ce travail, étant donné qu'on a choisi de travailler sur les mêmes exploitations pour évaluer la situation actuelle et des stratégies alternatives. Si on envisage d'utiliser le modèle dans un cadre plus large notamment pour comparer plusieurs exploitations appartenant à des bassins viticoles différents, la contextualisation s'impose notamment pour le choix des seuils.

3. Pondération et règles de décision

Il aurait été préférable de remplir les règles de décisions manuellement et de laisser le modèle décider des pondérations. Cette méthode est certes fastidieuse et nécessite beaucoup de temps essentiellement quand il s'agit d'impliquer des viticulteurs et des experts dans différents domaines dans cette opération mais elle apporte plus de précisions et de pertinence au niveau des poids attribués. Dans le cas où le modèle propose des poids qui sont validés par les experts et répondent à leur attentes, la fiabilité du modèle et de l'expertise est validée.

II. Validation du modèle

1. Méthode de validation avec les experts et les viticulteurs

La procédure de validation du modèle avec les viticulteurs s'est avérée longue avec certaines difficultés. En effet, malgré la simplicité des critères et des indicateurs, il y a eu une ambiguïté pour la compréhension de certaines notions comme l'impact de l'enherbement sur le ruissellement et le lessivage. Pour y remédier, il est indispensable de clarifier ces notions avec l'agriculteur avant de commencer l'évaluation.

Avec les experts, nous n'avons pas pu effectuer l'exercice souhaité vu la difficulté d'évaluer une exploitation inconnue d'eux, même en ayant les données nécessaires. Pour valider le modèle, un groupe d'experts doit être sollicité dans des domaines différents (enherbement, ressources naturelles, biodiversité…) afin de revoir toutes les branches de la durabilité environnementale. Il est nécessaire aussi de faire appel à des économistes et des experts sociaux pour la durabilité économique et sociale.

Conclusion

Dans le présent travail, il était question de construire un outil d'évaluation multicritère des systèmes de cultures viticoles et de tester sa mise en œuvre auprès des viticulteurs.

La contribution de ce travail se situe à différents niveaux. Le premier est la construction de l'arbre de décision de DEXiPM-vigne. En effet, les différents critères et indicateurs ont été identifiés et hiérarchisés ainsi que les fonctions d'utilité et les pondérations. L'avantage de ce modèle est qu'il intègre des informations qualitatives accessibles et faciles à renseigner, ce qui a facilité aussi l'élaboration de seuils.
Il est possible d'améliorer la sensibilité du modèle en augmentant le nombre de classes au niveau de certains critères notamment l'IFT, le nombre de traitements et les pratiques culturales pour le ruissellement et le lessivage pour le volet environnemental. Pour le volet économique, augmenter le nombre de classes des indicateurs rendement et prix de vente pourrait affiner l'évaluation et rendre le modèle plus discriminant pour des systèmes viticoles différents.

La seconde contribution est la démarche participative adoptée avec l'implication importante du viticulteur à la fois dans le paramétrage du modèle et sa validation mais aussi dans la réflexion autour des stratégies phytosanitaires alternatives. Une démarche qui a permis d'appliquer le modèle pour évaluer la durabilité des deux exploitations pour la situation actuelle mais aussi pour les différents scénarii proposés afin de limiter le recours aux pesticides.

DEXiPM-vigne a donc été utilisé comme un tableau de bord qui permet de synthétiser et structurer les différents critères de l'évaluation et de pouvoir décider à quel niveau agir pour atteindre les objectifs de réduction des intrants. C'est aussi un excellent moyen pour animer les discussions avec les viticulteurs dans la mesure où l'arbre de décision est visible dans son intégrité.

DEXiPM-Vigne, dans sa version actuelle, peut être adopté pour évaluer la durabilité des systèmes viticoles existants et tester plusieurs alternatives. Il est opérationnel à condition de travailler sur les mêmes systèmes d'exploitation dans les mêmes conditions et contraintes que dans le présent exercice. Néanmoins, si on veut l'utiliser à une autre échelle, notamment pour comparer et tester des systèmes viticoles différents dans des environnements différents, il est indispensable d'intégrer les conditions climatiques à différents niveaux de l'arbre et de contextualiser c'est-à-dire redéfinir les seuils pour certains critères comme l'IFT en se basant sur des valeurs locales. Ceci engagera un temps non négligeable dans la mesure où la contextualisation nécessite un travail d'expertise et d'enquête pour

différents domaines. Nous nous sommes heurtés également au manque de connaissance en viticulture pour faire le lien entre certaines opérations culturales, le développement de maladies et la production attendue (en quantité et qualité). Certaines valeurs de seuils et de pondérations ont été déterminées à dires d'experts, mais mériteraient d'être vérifiées à l'aune de ces connaissances manquantes.

Néanmoins, la méthodologie suivie pour la conception de DEXiPM-vigne est générique et peut être reprise pour des systèmes de production d'autres filières, ce qui peut s'inscrire dans le projet de recherche pure. Toute la démarche est détaillée dans ce rapport de façon à retrouver les différentes références et expertises sollicitées.

En ce qui concerne l'utilisation de DEXiPM-vigne dans le cadre du projet CepViti, les critères mis en évidence peuvent compléter la phase d'évaluation des performances du système de production étudié. Pour l'instant, cette évaluation se résume à un tableau pour estimer rapidement quelques critères (IFT, nombre de passages, coût des produits phytosanitaires, de main-d'œuvre et charges de mécanisation). Les critères identifiés dans l'arbre de décision DEXiPM-Vigne permettront d'enrichir cette évaluation dans un parcours « approfondi » de la démarche CEPviti, qui ajouterait :

- des critères de base à prendre en compte, renseignés avec le viticulteur (pénibilité du travail),
- des critères agrégés de niveau 2 (impact sur érosion, fertilité du sol, lessivage des produits phytosanitaires, consommation d'énergie).

Bibliographie

Albrand J.P., L'Helgoualch E. (2006). Evaluation de la biodiversité des arthropodes dans les zones écologiques réservoir et dans le vignoble. Rapport de la Chambre d'agriculture du Vaucluse.

Altieri M.A., Nicholls C.A. (2004). *Biodiversity and pest management in agroecosystems*. New York : The Haworth Press. 235 p.

Andrieux P. (2006). Effet des pratiques culturales sur le ruissellement et l'érosion. Montpellier : INRA. 4 p. Vigne, sol et environnement : une rencontre profession-recherche en Languedoc Roussillon, Campus Agro-Inra Montpellier journée du 7 février 20061-4. [Consulté en 2011]. http://www1.montpellier.inra.fr/vignesolenv/actes/ANDRIEUX.pdf

AREDVI (2010). *Guide des vignobles Rhône méditerranée. Viticulture raisonnée et biologique*. Aix en Provence : AREDVI. 140 p.

Bockstaller C., Girardin P. (2007). Mode de calcul des indicateurs agrienvironnementaux de la méthode Indigo®. Nancy-Colmar : UMR INPL(ENSAIA)INRA Agronomie et Environnement. 104 p.

Bockstaller C., Guichard L., Makowski D., Aveline A., Girardin P., Plantureux S. (2008). Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 28, n. 1, p. 139-149.

Bohanec M., Rajkovič V. (1999). Multi-attribute decision modeling: industrial applications of DEX. *Informatica* **Chapitre Chapitre**, n. 23, p. 487–491. [Consulté en 2011]. http://lopes1.fov.uni-mb.si/za_PES_PO_net/ClanekInformatika99.pdf

Bohanec M., Cortet J., Griffiths B., Znidarsic M., Debeljak M., Caul S., Thompson J., Krogh P.H. (2007). A qualitative multi-attribute model for assessing the impact of cropping systems on soil quality. *Pedobiologia*, n. 51, p. 239-250. [Consulté en 2011]. http://kt.ijs.si/markodebeljak/Lectures/Systems_Ecology/Reading/DSS_1_soil_quality.pdf

Bohanec M. (2008). DEXi: A program for multi-attribute decision making. 60 p. [Consulté en 2011]. http://kt.ijs.si/MarkoBohanec/pub/DEXiManual303.pdf

Boulanger-Fassier S. (2008). La viticulture durable, une démarche en faveur de la pérennisation des territoires viticoles français ? *Géocarrefour*, n. 83, p. 181-190

Boutin F., Chovelon M., Constant N., Doughty R., Durand O., Goma-Fortin N., Jonis M., L'Helgoualch., Minost C., Réaut A. (2003). *L'enherbement de la vigne*. Paris : ITAB. 4 p. [Consulté en 2011]. http://www.itab.asso.fr/downloads/Fiches-techniques_viti/viti%20enherbement.pdf

César G. (prés.). (2002). *L'avenir de la viticulture française : entre tradition et défi du Nouveau Monde*. Rapport d'information fait au nom de la commission des Affaires économiques et du Plan par le groupe de travail présidé par M. Gérard César. [Consulté en 2011]. http://www.senat.fr/rap/r01-349/r01-349.html

Coutarel E., Guiot E., Mérot M. (2003). *Manuel de production intégrée en viticulture*. Bordeaux : Féret.

Dartigoeyte L. (2006). *L'enherbement des vignobles*. Blanquefort : Chambre d'agriculture de la Gironde. 5 p. [Consulté en 2011]. http://www.matevi-france.com/experimentations/06enherbement.pdf

Delmotte S. (2008). Evaluation contextualisée de la durabilité pour la conception de systèmes de culture viticoles à l'échelle de la parcelle. Mémoire de fin d'étude : SupAgro Montpellier. 80 p.

Gaviglio C. (2006). *Epamprage de la vigne. Limiter l'utilisation des intrants*. ITV France Midi-Pyrénées. 9 p. [Consulté en 2011]. http://www.vignevin-sudouest.com/publications/compte-rendus-recherche/pdf/epamprage_de_la_vigne_mai_06.pdf

Gaviglio C. (2010). Etude des performances énergétiques des matériels viticoles. *MATEVI Lettre d'actualités*, mars, n. 45, 8 p. [Consulté en 2011]. http://www.matevi-france.com/experimentations/1003MATA451.pdf

Gerber M., Astigarraga L., Bockstaller C., Fiorelli J.L., Hostiou N., Ingrand S., Marie M., Sadok W., Veysset P., Ambroise R., Peigné J., Plantureux S., Coquil X. (2004). Le modèle Dexi-SH* pour une évaluation multicritère de la durabilité agroécologique des systèmes d'élevage bovins laitiers herbagers. *Innovation Agronomique*, n. 4, p. 249-252.

Girardin P., Guichard L., Bockstaller C. (2005). *Indicateurs et tableaux de bord : guide pratique pour l'évaluation environnementale*. Cachan : Tec et Doc Lavoisier. 40 p.

Le vigneron champenois (2010). *Guide pratique viticulture durable en Champagne*. Epernay : Association viticole champenoise. 220 p. (Hors série).

Lô-Pelzer E., Bockstaller C. , Lamine C., Angevin F., Messéan A. (2010). DEXiPM : un outil pour l'évaluation des systèmes de culture répondant aux exigences de la production intégrée. Séminaire MASC, 9 et 10 mars 2010, Paris : « Le modèle MASC et ses utilisations pour l'évaluation de la durabilité des systèmes de cultures »

Lô-Pelzer E., Bockstaller C., Lamine C., Angevin F., Messéan A. (2009). Presentation of DEXiPM : A qualitative multi-criteria model for the assessment of the sustainability of pest management systems. ENDURE Workshop, 38 p.

Lô-Pelzer E., Bockstaller C., Messéan A. (2007). Tutorial of DEXiPM arable crop : A qualitative multi-criteria model for the assessment of the sustainability of pest management systems. ENDURE Deliverable DR2 .14b. 42 p.

Meziere D. et Gary C., Barbier J-M., Bernos L., Clement C., Constant N., Deliere L., Forget D., Grosman J., Molot B., Rio P., Sauvage D., Sentenac G. (2009). *Ecophyto R & D : Vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Tome III : Analyse comparative de différents systèmes en viticulture*. INRA. 58 p.

Munda G., Nijkamp P. and Rietveld P. (1994). Qualitative multicriteria evaluation for environmental management. *Ecological economics*, vol. 10, n. 2, p. 97–112.

Munda G., Nijkamp P., Rietveld P. (1995) Qualitative multicriteria methods for fuzzy evaluation problems: An illustration of economic-ecological evaluation. *European journal of operational research*., vol. 82, n. 1, p. 79–97.

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*, vol. 72, n. 2, p. 149-172.

Qureshi M.E., Harrison S.R., Wegener M.K. (1999). Validation of multicriteria analysis models. *Agricultural systems*, vol. 62, n. 2, p. 105-116.

Roy B. (1985). *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Paris : Economica. 423 p.

Sadok W. (2006a). Analyse critique des critères de durabilité des systèmes de culture et de leur évaluation multicritère par DEXi. 2ème rapport d'avancement du WP3 (Projet discotech).

Sadok W., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Messean A., Dore T. (2009). MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for sustainable development*, vol. 29, n. 3, p. 447-461.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.É., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Dore T. (2008). Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implications for

using multi-criteria decision-aid methods. *Agronomy for sustainable development*, vol. 28, n. 1, p. 163–174.

Sadok W. (2006b). Simulation d'évaluation multicritère de systèmes de culture via DEXi: Propositions de modèles hiérarchiques de critères, de classes, de pondérations et d'exemple de systèmes de culture à évaluer. . Rapport d'avancement 3.2 (projet Discotech).

Salles P. (2007). Conception d'un outil d'évaluation de la durabilité des successions en systèmes légumiers de plein champ: DEXi-Légumes. Mémoire de fin d'Etudes : Agrocampus Rennes.

Sebillotte M. (1990). Système de culture, un concept opératoire pour les agronomes. In : Combe L., Picard D. (Eds.). *Un point sur les systèmes de culture*. Paris : INRA, p. 165–196.

Serrano E., Renard R. 2001. L'effeuillage de la vigne : synthèse de quatre années d'études menées en Midi-Pyrénées. Compte rendu ITV France Midi-Pyrénées. Vinnipôle Sud Ouest. 13 p. [Consulté en 2011]. http://www.vignevin-sudouest.com/publications/compte-rendus-recherche/pdf/effeuillage-de-la-vigne-synthese-4-annees.pdf

Thiollet-Scholtus M. (2004). Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle du bassin versant viticole. Thèse de doctorat : Institut National Polytechnique de Lorraine. 179 p.

Tixier P., Malezieux E., Dorel M., Wery J. (2004). SIMBA: a comprehensive model for agro-ecological assessment and prototyping of banana based cropping systems. An application to the banana cropping systems in French West Indies. The Fourth International Crop Science Congress Proceedings, Brisbane.

Valdés-Gomez H., Fermaud M., Roudet J. Calonnec A., Gary C. (2008). Grey mould incidence is reduced on grapevines with lower vegetative and reproductive growth. *Crop protection*, vol. 27, n. 8, p. 1174-1186.

Van Der Werf, H. M. G. (1996). Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, ecosystems and environment*, vol. 60, n. 2-3, p. 81-96.

Wiren-Lehr S.V. (2001). Sustainability in agriculture- an evaluation of principal goal-oriented concepts to close the gap between theory and practice. *Agriculture ecosystems and environment* , vol. 84, n. 2, p. 115-129.

Zanakis S.H., Solomon A., Wishart N. and Dublish S. (1998). Multi-attribute decision making: A simulation comparison of selection methods, *European journal of operational research*, vol. 107, n. 3, p. 507–529.

Références électroniques

Agreste. Statistiques agricoles annuelles 2007.
http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/statistique-agricole-annuelle-saa/

Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. http://www.agriculture.gouv.fr/

Ministère de l'agriculture et de la pêche. http://e-phy.agriculture.gouv.fr/

Pesticide Properties DataBase. http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/fr/index.htm

Fiches pratiques de l'IFV sud-ouest : L'éclaircissage chimique ou physiologique : http://www.vignevin-sudouest.com/publications/fiches-pratiques/eclaircissage-chimique.php

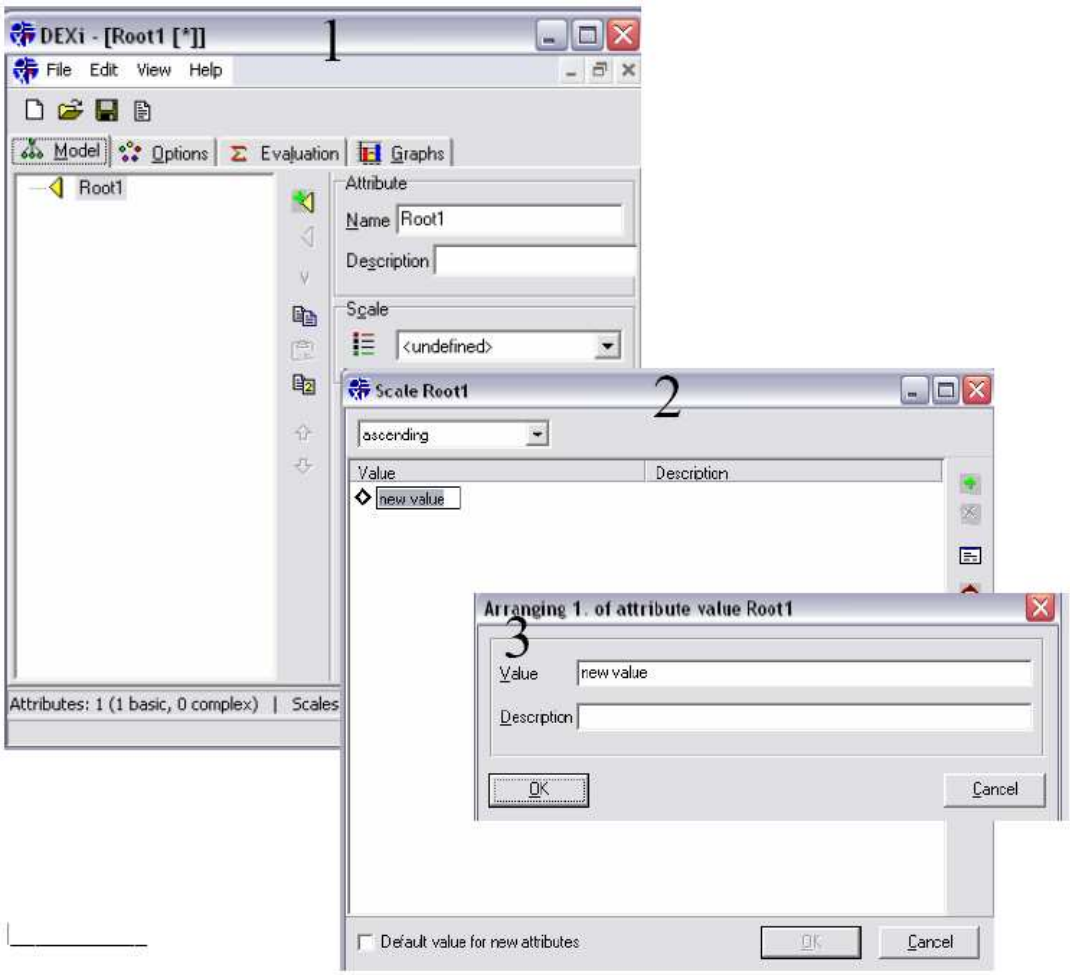
Les publications de l'IFV : Enherbement et impacts sur la vigne :
http://www.vignevin.com/fileadmin/users/ifv/publications/A_telecharger/Sols_14_25.pdf

Annexes

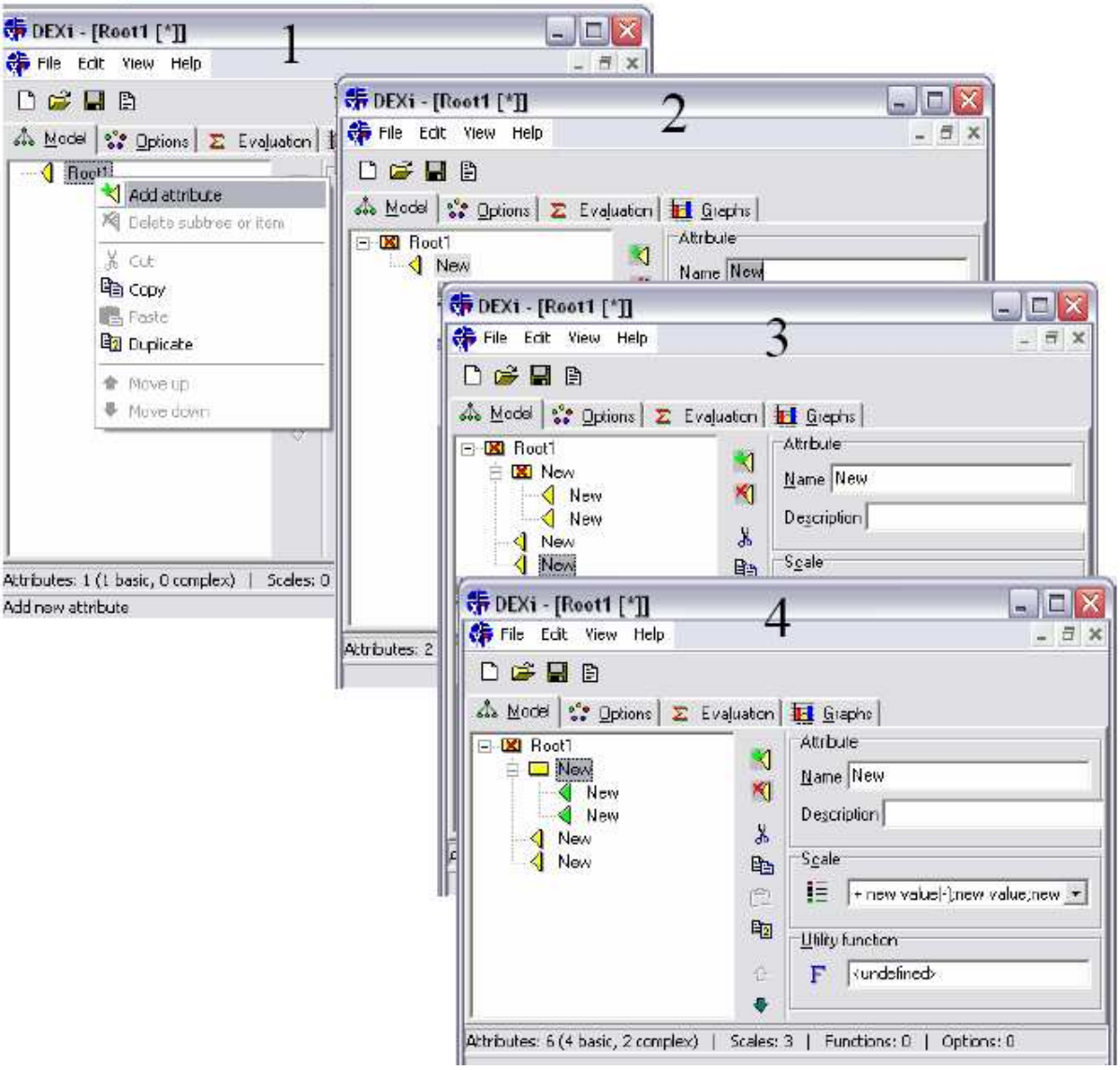
Annexe I. Tutorial de DEXi (Sadok, 2006b)

L'utilisation de l'outil se fait principalement *via* quatre onglets : le premier pour la construction du modèle hiérarchique (**Model**), le second pour la description des options (i.e., systèmes de culture) à évaluer (**Options**), le troisième pour visualiser le résultat de l'évaluation (**Evaluation**) et le quatrième pour la visualisation des sorties graphiques
(**Graphs**).

1. En cliquant sur New_File, un attribut racine apparaît (*Root1*, ecran#1). Il faut alors lui attribuer un nom dans le champ **Name**, ainsi qu'une échelle de classes à définir dans le champ **Scale**. (Eventuellement, une description plus détaillée de l'attribut peut être réalisée dans le champ **Description**). En cliquant sur **Scale**, un deuxième écran (écran#2) s'affiche (*Scale Root1*), pour lequel il faut définir (i) un label pour chaque classe et éventuellement une description à titre indicatif pour l'évaluateur (écran [#3] *Arranging of attribute value* que l'on obtient en cliquant sur le rectangle blanc situé à la bordure droite de l'écran *Scale Root1*), (ii) et un ordre de succession des classes (ascending ou descending). Il est recommandé de définir un ordre ascendant (ascending) afin de pouvoir utiliser la fonction « weights » (voir sections suivantes).

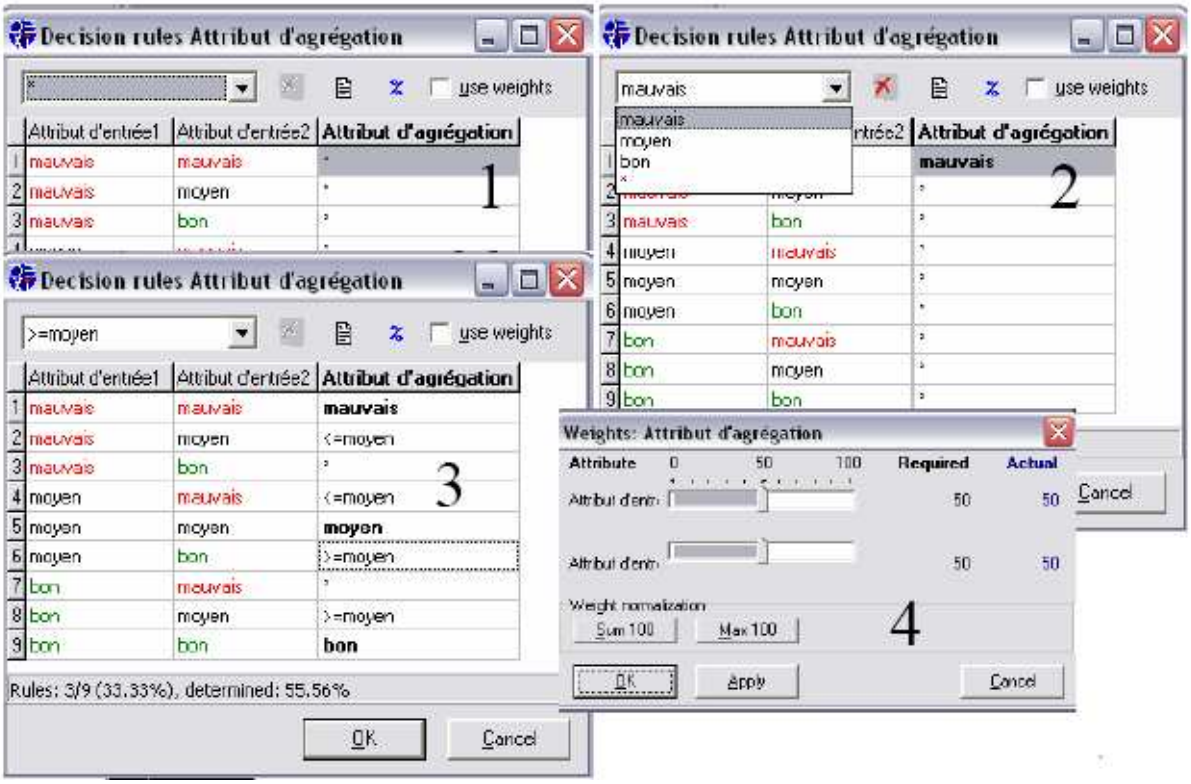


2. Pour générer une arborescence, procéder à un clic droit sur l'icône *Root1* puis cliquer dans le menu qui s'affiche sur l'icône *Add attribute* (écran#1). Une fois cette opération réalisée, un attribut de rang inférieur apparaît et crée ainsi un début d'arborescence (écran#2). En répétant cette procédure autant de fois que souhaité, une arborescence est créée (écran#3). Un attribut d'agrégation est symbolisé par un rectangle et un attribut d'entrée est symbolisé par un triangle. Une fois que l'échelle de classes est définie pour les attributs d'entrée (voir point#1), leur couleur change du jaune au vert. En procédant d'une façon identique, le symbole caractérisant les attributs d'agrégation (rectangle) ne présente plus de croix une fois leurs classes définies (écran#4).

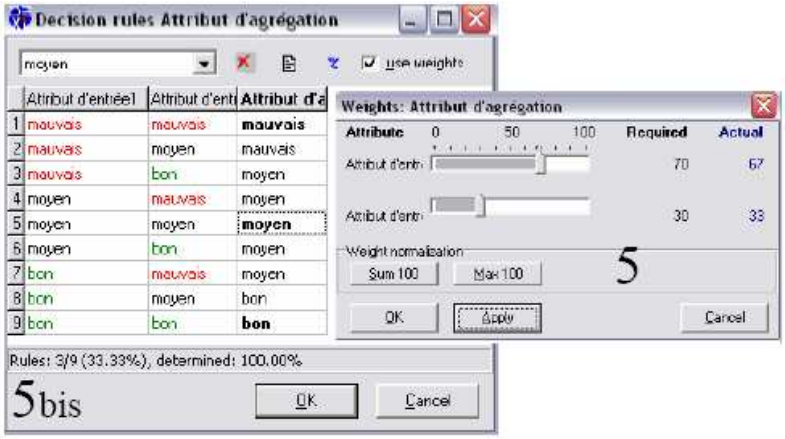


3. Une fois les classes des attributs d'entrées et d'agrégation définies, il devient possible d'activer une fonction d'utilité (***Utility function***) au niveau de l'attribut d'agrégation, en cliquant sur le symbole **F** (voir écran#4 du point#2). Un nouvel écran s'affiche, mettant en évidence les règles de décisions à définir par l'utilisateur afin de construire la fonction d'utilité (écran#1). Dans le menu situé en haut à gauche de l'écran, l'utilisateur sélectionne un état qualitatif parmi ceux caractérisant l'attribut d'agrégation, en fonction de la combinaison des états qualitatifs des attributs à agréger (écran#2). A partir de là, l'utilisateur possède deux alternatives ; (i) soit il renseigne toutes les règles de décision une à une dans la table d'agrégation (opération lourde si le nombre de règles de décisions à renseigner devient trop important avec parfois des combinaisons pas faciles à renseigner. Situation se présentant quand le nombre d'attributs à agréger et/ou de leurs classes est trop important) ; (ii) soit il renseigne les règles de décisions les plus simples (typiquement : mauvais + mauvais = mauvais, bon + bon = bon ; moyen + moyen = moyen). Dans ce dernier cas, l'outil, *via* un algorithme qui

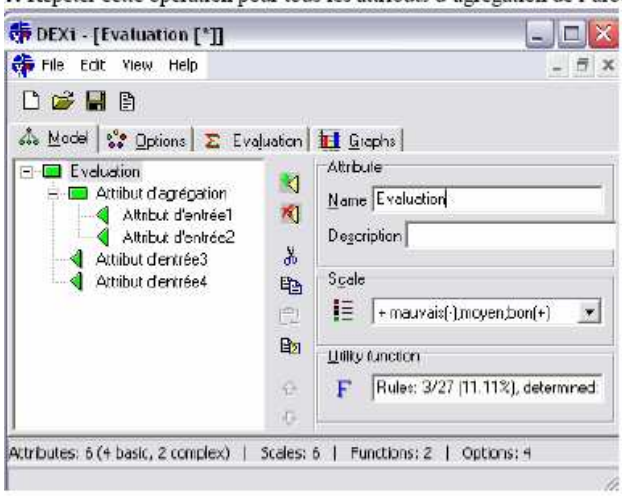
[vraisemblablement] interpole les résultats des règles de décisions renseignés par l'utilisateur, propose des gammes de solutions possibles pour chaque combinaison (écran#3) (Quand le logiciel n'arrive pas à trouver une solution en fonction des éléments qui lui sont fournis, un signe (*) apparait dans la case correspondante). Afin de savoir à quoi correspondent les règles de décision saisies en termes de poids, cliquer sur le signe % (« weights »). Un écran de pondération s'affiche, avec les valeurs de poids actuelles et demandées (écran#4). Il devient alors possible de choisir une pondération adéquate, en déplaçant les curseurs correspondant aux échelles de poids des deux attributs à agréger.
Cependant, la pondération choisie ne devra pas être en contradiction avec les règles de décision précédemment rentrée, auquel cas le logiciel ne suivra pas la proposition de l'évaluateur, à moins que celui-ci réexamine les règles de décision qu'il a rentrées.



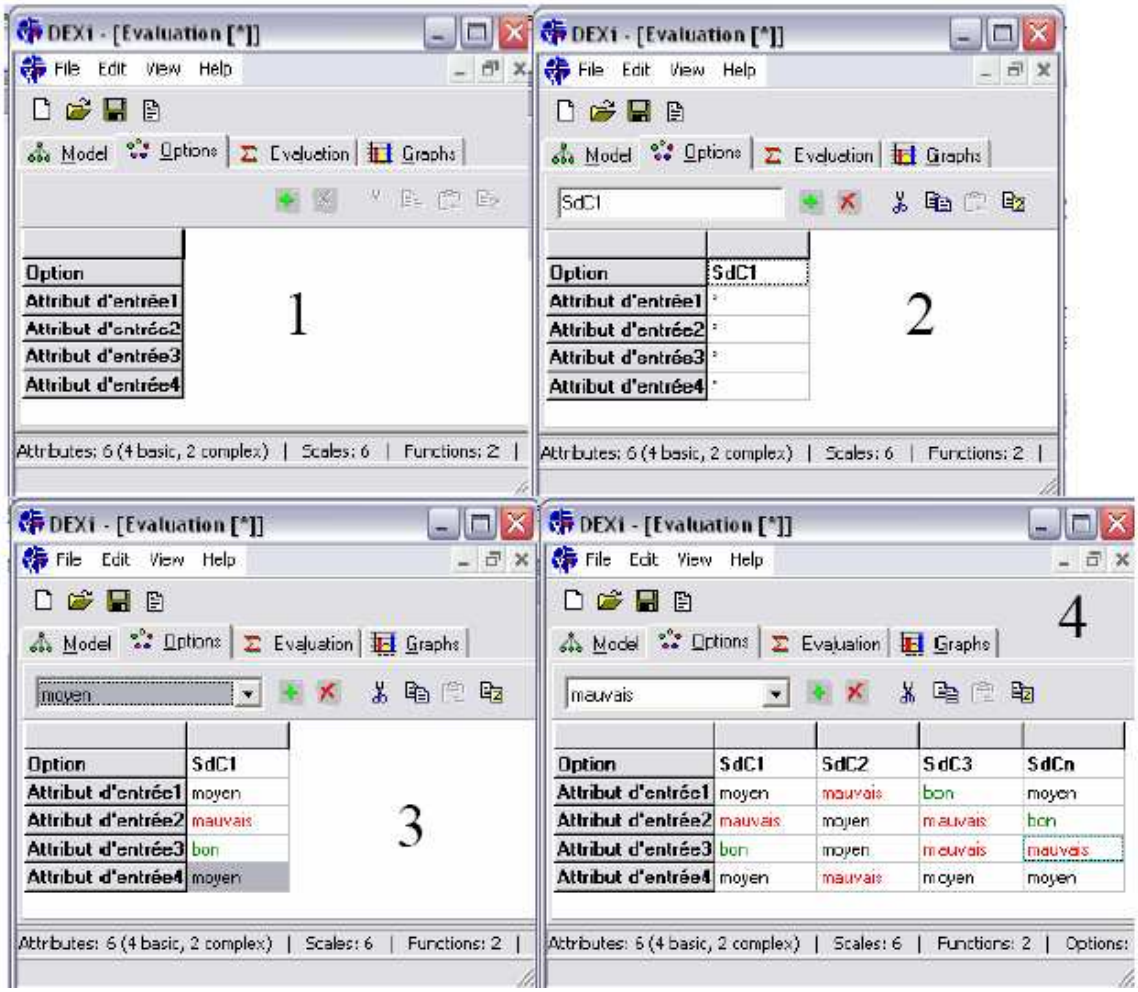
Par exemple, si l'on propose une pondération affectant 70% de poids au premier attribut d'entrée et 30% à l'autre (écran#5), l'outil s'ajuste en fonction de cette proposition en s'en approchant, sans aboutir exactement aux pondérations spécifiées (voir colonne *Actual* sur l'écran#5), car les règles de décisions précédemment rentrées ne le permettent pas. En même temps, l'outil propose des réponses à toutes les règles de décisions non renseignées précédemment par l'utilisateur (écran#5bis), et cela en fonction des pondérations ajustées (fonction « *use weight* » activée).



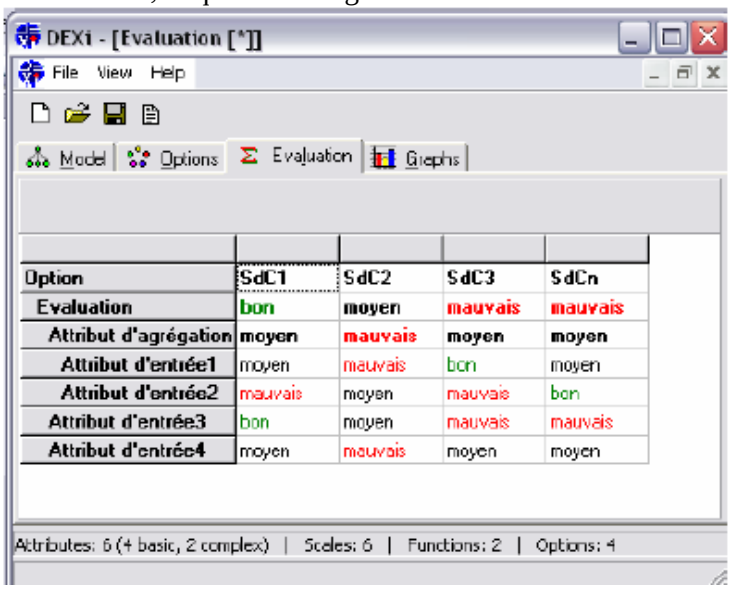
4. Répéter cette opération pour tous les attributs d'agrégation de l'arborescence.



5. L'étape suivante est la description des options. En cliquant sur l'onglet **Options**, un écran s'affiche (écran#1) dans lequel il faut rentrer les données relatives aux objets à évaluer.
D'abord, cliquer sur + afin de créer une colonne correspondant à l'objet d'évaluation (écran#2). Ensuite, lui donner un nom dans le champ spécifié (SdC1, écran#2).
Par la suite, pour chaque critère, sélectionner dans le menu déroulant en haut à gauche de l'écran l'état qualitatif lui correspondant (écran#3), puis répéter toute l'opération pour chaque nouvel objet à évaluer (écran#4).

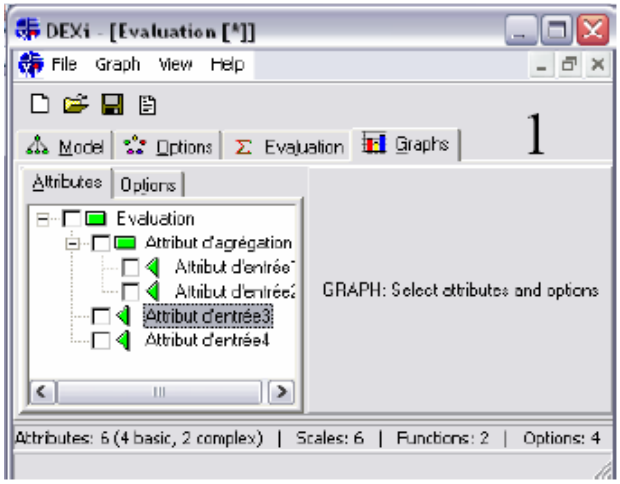


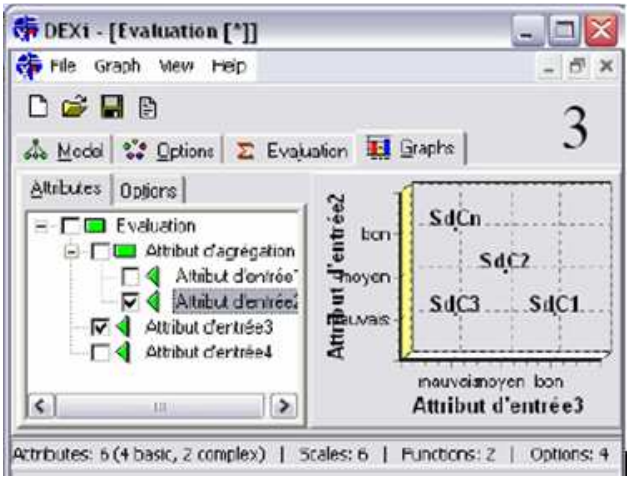
6. Une fois l'étape 5 terminée, il devient possible de consulter les résultats de l'évaluation. Pour ce faire, cliquer sur l'onglet **Evaluation** :

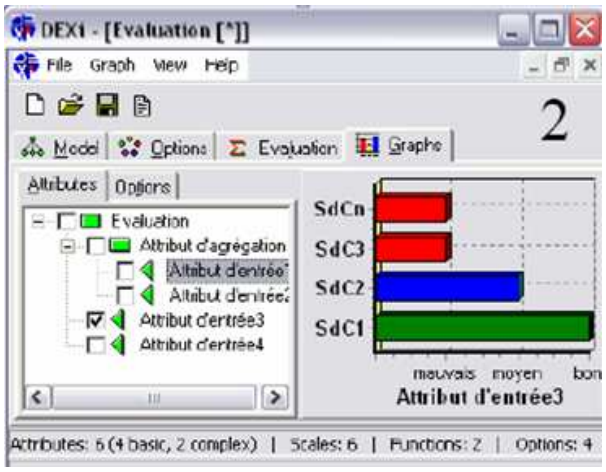


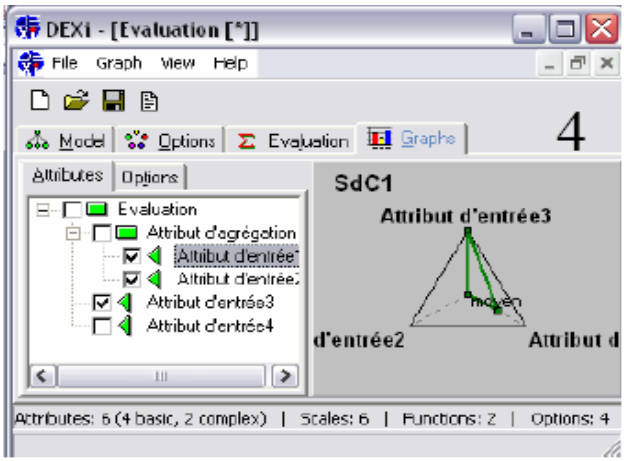
En fonction des pondérations proposées et des valeurs qualitatives des critères, l'outil propose des évaluations exprimées en variables linguistiques.

7. Afin de visualiser graphiquement les résultats de l'évaluation, cliquer sur l'onglet **Graphs**.
Un premier écran s'affiche (écran#1, Onglet Attributes), dans lequel une instruction demande à l'utilisateur de sélectionner un ou plusieurs attributs. L'utilisateur peut alors choisir de comparer les options par rapport à un, deux ou plusieurs critère(s) (écrans#2-3-4).

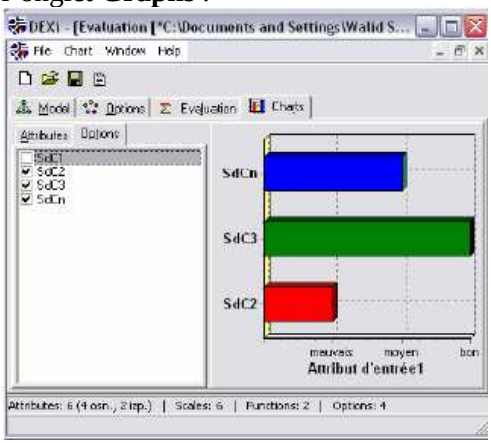






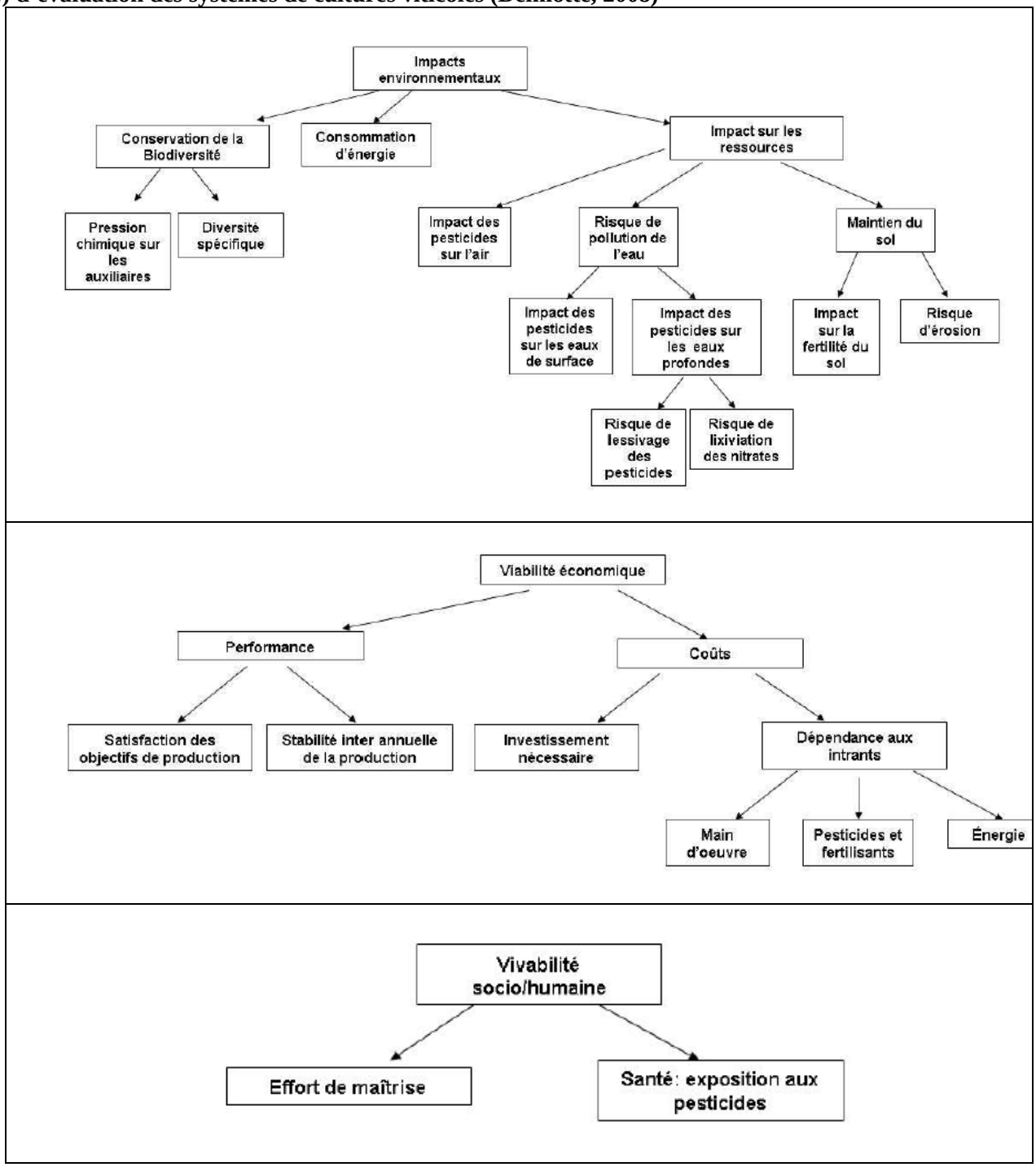


L'évaluateur peut également choisir les options à comparer, en cliquant sur l'onglet Options de l'onglet **Graphs** :



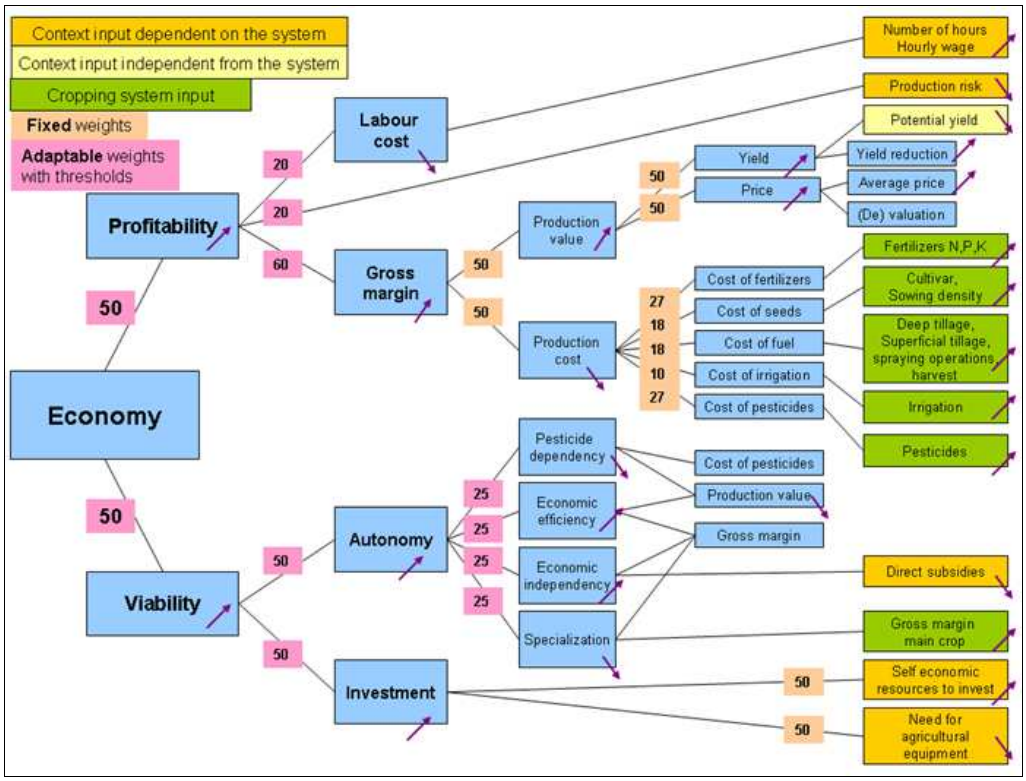
Annexe II. Arbres hiérarchiques des différents modèles de DEXi

A. Arbre hiérarchique des critères environnementaux (A), économiques (B) et sociaux-humains (C) d'évaluation des systèmes de cultures viticoles (Delmotte, 2008)

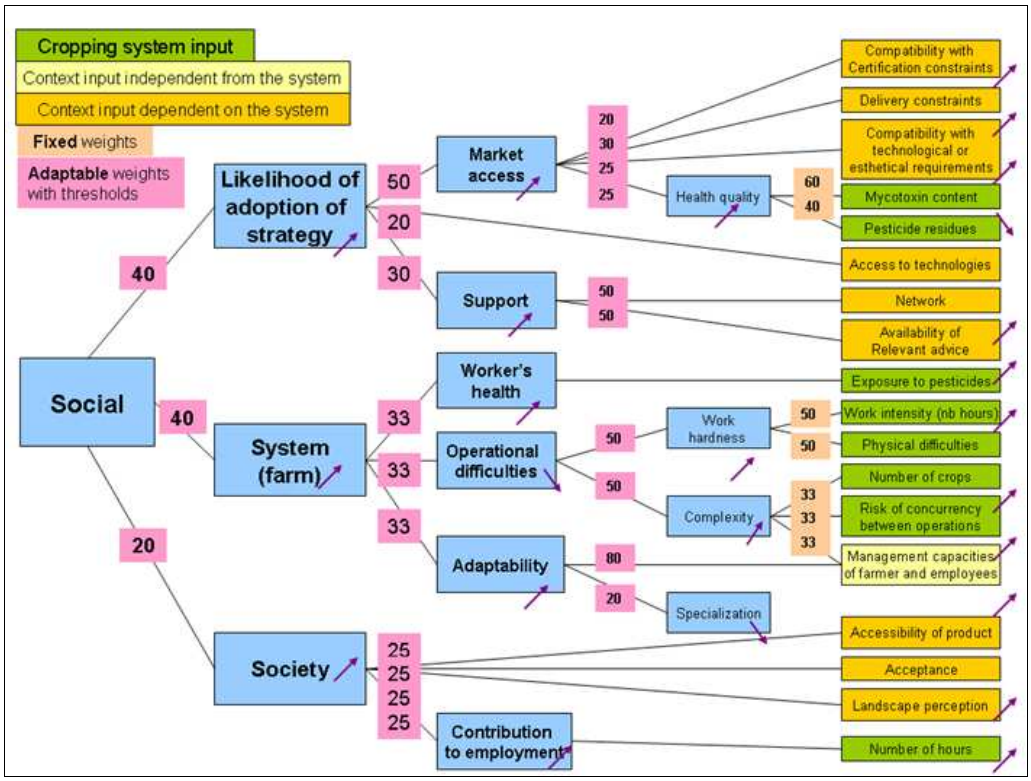


B. Représentation schématique des arbres de décision de DEXiPM pour la durabilité économique, sociale et environnementale (Sadok *et al.*, 2009)

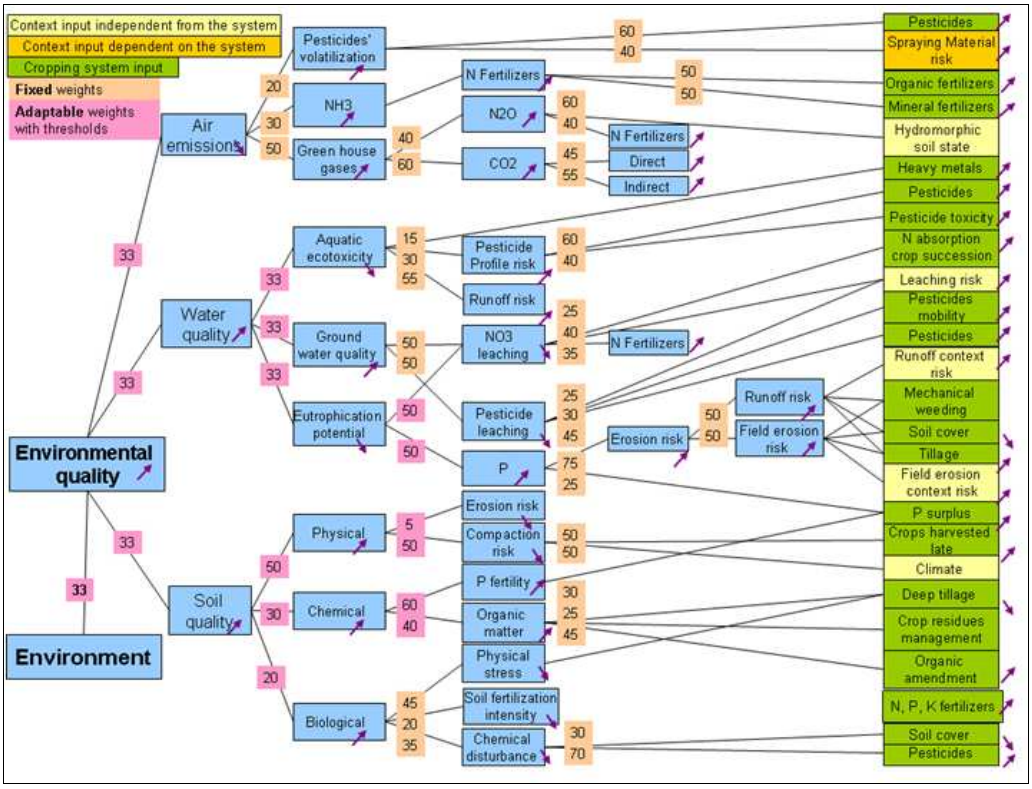
- **Durabilité économique**

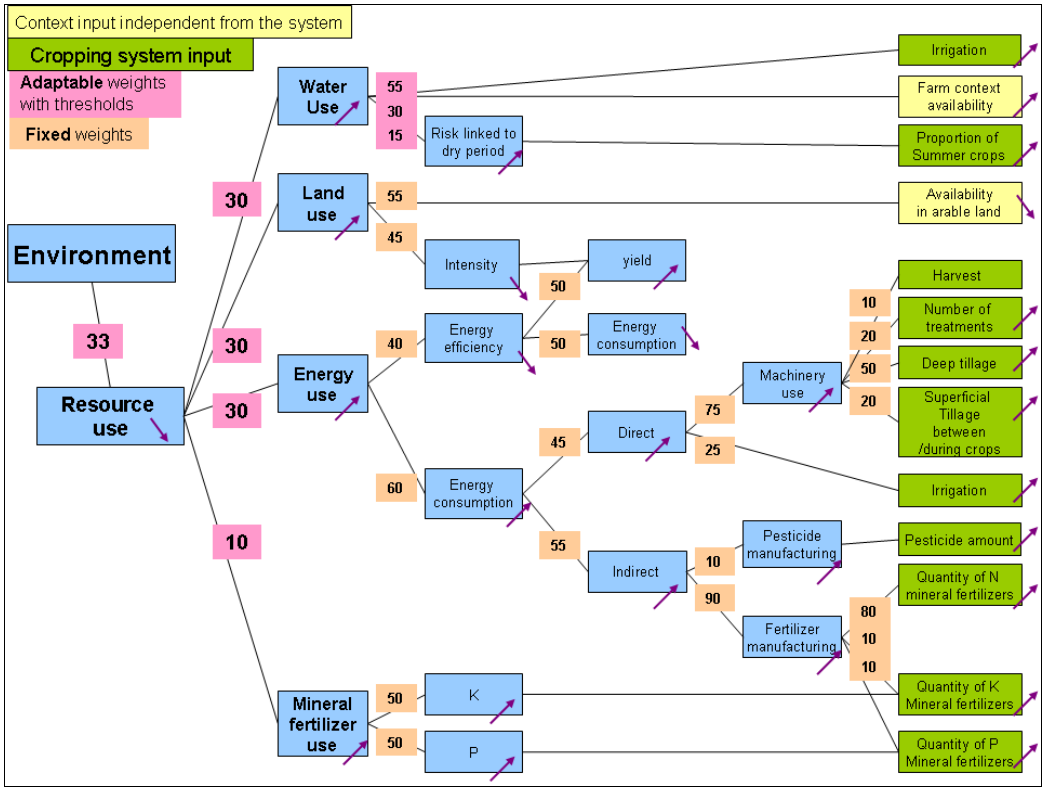


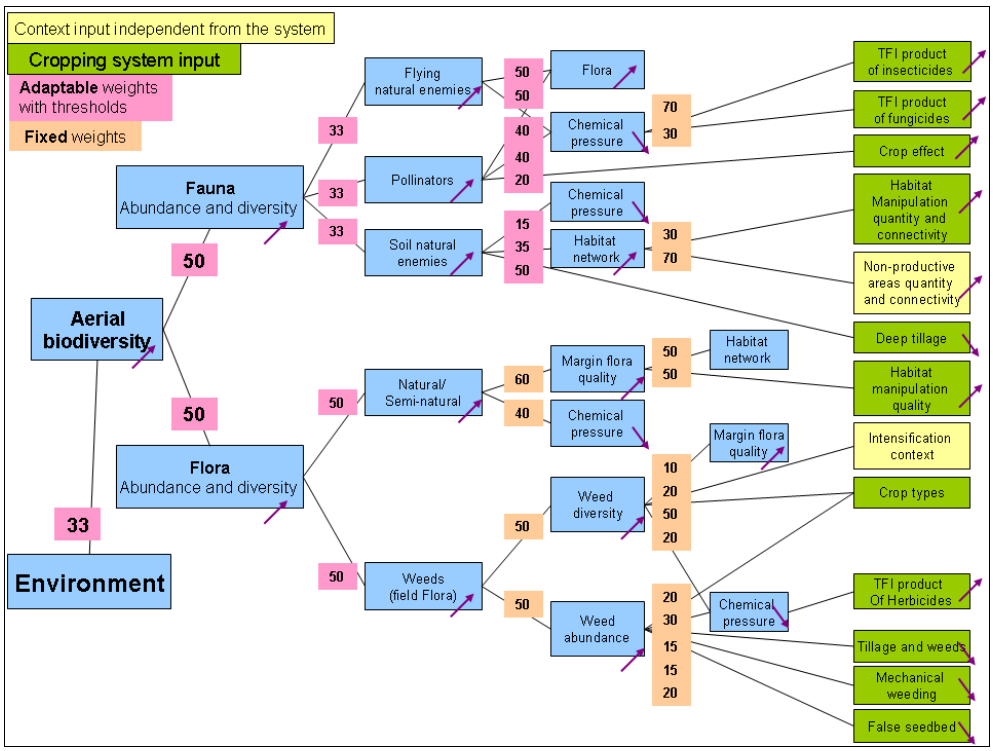
- **Durabilité sociale**



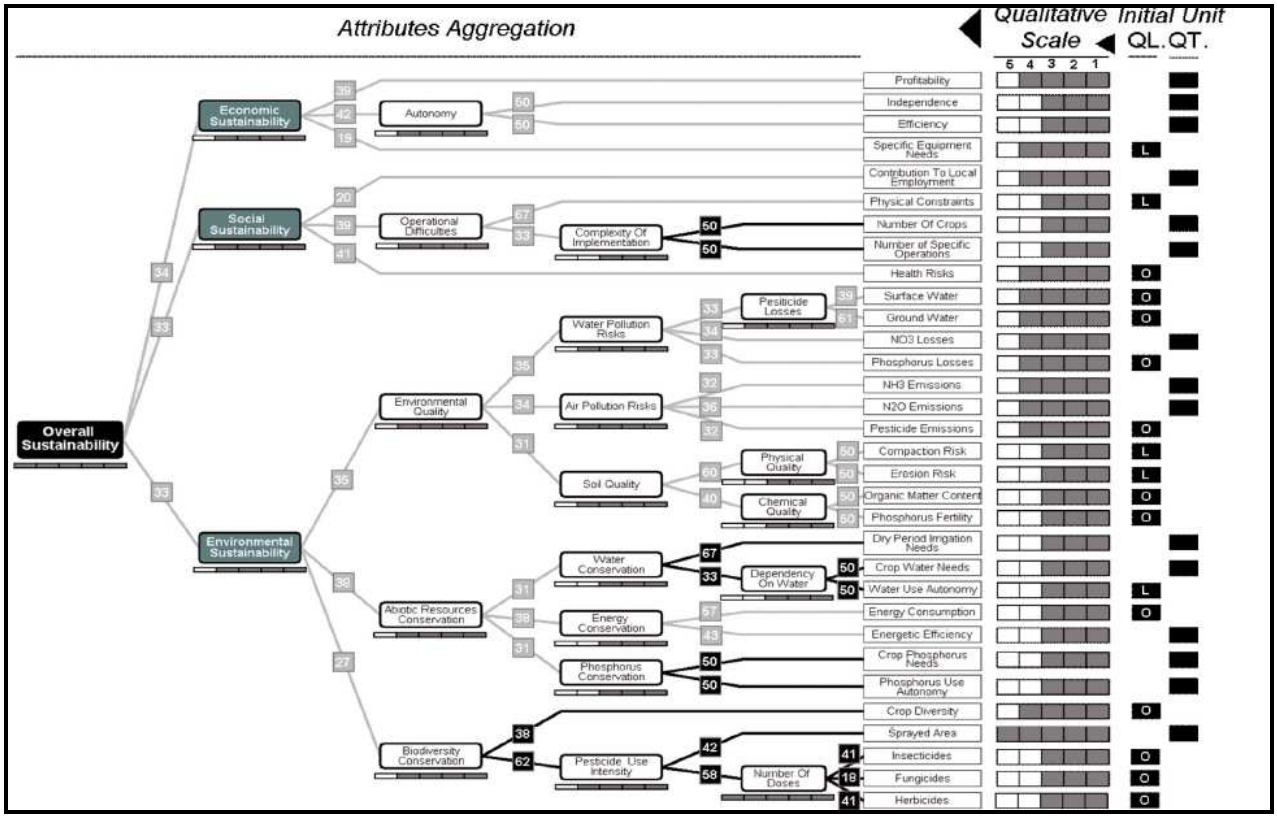
➢ Durabilité environnementale







C. Arbre de décision pour le modèle MASC (Sadok *et al.*, 2009)



Annexe III : Enquête avec les viticulteurs de type 1 et 2

A. Questionnaire complémentaire

Situation actuelle de l'exploitation

I. Découpage parcellaire

Quel est le groupe de parcelles sur lequel va porter l'évaluation ?

II. Volet environnemental :

1. Travail du sol

- Vendange : manuelle ou mécanique ?
  Si mécanique : vigne étroite ou vigne large ?

2. Gestion des adventices
   i : Désherbage mécanique : pas de désherbage

   ii : Désherbage chimique

   iii: Enherbement

3. Traitement chimique :
   i : calendrier de traitement (IFT)

   ii : Matériel de pulvérisation et réglage du matériel :

   Est-ce un appareil face par face ?

   Est-ce que vous réglez le matériel de pulvérisation (orientation des buses, couper l'alimentation des diffuseurs qui ne sont pas dirigés vers la végétation) ?

4. Les travaux en vert

Opération	Fréquence	Modalité (chimique/ mécanique)	Nombre de parcelle	Dans quel but ?
Epamprage				
Ebourgeonnage à cœur				
Eclaircissage				
Effeuillage				
Rognage / écimage				

Lorsque vous taillez, que faites-vous des sarments ?

Dans quel but ?

5. Biodiversité :

- Laissez-vous des bandes enherbées non traitées autours de vos parcelles ?
- Est-ce que vous aménagez des haies ou des murs de pierres sèches ?
- Avez-vous des parcelles qui sont à proximité d'un point d'eau ?
- Distance de ces parcelles par rapport à un point d'eau ?

III. Résultats économiques

- Prix de la bouteille/de l'Hl
- Rendement moyen

IV. Volet social

- Avez-vous accès à des outils d'aide à la décision (logiciel) ?

  Exemple d'outil d'aide à la décision :

- Quelles sont vos sources de conseil ?

- Quel est le degré de compatibilité du raisin produit avec les contraintes de certification ?

  (Quelle est la qualité du raisin produit par rapport aux exigences de la cave coopérative)

- Avez-vous accès aux nouvelles technologies ?

  Lesquelles ?

- Êtes-vous prêt à adopter de nouvelles technologies ?
- Nombre d'heure de travail pour une semaine chargée ? Fréquence ?

  Comment jugez-vous les difficultés physiques du travail ? Opération la plus pénible ? Période ?

  Nombre de main-d'œuvre permanente ?
  Nombre de main-d'œuvre saisonnière ?

- Pensez-vous que le vin que vous produisez correspond aux attentes du consommateur ?

Nouvelles stratégies phytosanitaires

- Pensez-vous qu'avec cette nouvelle stratégie phytosanitaire il y a un risque de diminution (augmentation) du rendement ?

- Quel pourcentage de risque de diminution/augmentation de rendement pouvez-vous tolérer ?

- Quels sont vos besoins en équipements agricoles ?

- Êtes-vous capable de financer ce nouvel investissement ?

B. Fiches techniques des solutions agronomiques à adopter pour réduire l'utilisation des pesticides et effet de leur mise en œuvre sur le système de production

- **Pour limiter l'usage d'herbicides sur le groupe de parcelles retenu**

Objectif	Solutions agronomiques disponibles		Mise en œuvre actuellement		Changements pour le système alternatif
			oui	non	
Détruire les adventices	Désherbage mécanique (8)	de l'inter rang			
		du rang			
Maîtriser le développement des adventices (9)	Enherbement	de l'inter rang			
		du rang			
		Couverture permanente			
	Choix d'espèces semées	peu concurrentes			
		résistantes à la sécheresse			
	Gestion du couvert temporaire par tonte				

- **Pour limiter l'usage de fongicides (mildiou, oïdium et botrytis)**

Objectif	Leviers disponibles	Actuellement		Changements pour le système alternatif
		oui	non	
Rompre le cycle de la maladie	Limitation de l'apparition de flaques (travail du sol, drainage)			
	Enherbement maintenu ras			
	Epamprage (3)			
	Elimination des plantules issues des pépins de raisins très exposées aux contaminations primaires			
Créer un micro climat défavorable au développement de la maladie et limiter la surface de végétation exposée aux maladies	Eclaircissage (4)			
	Effeuillage (5)			
	Rognage (fréquence) (6)			
	Ebourgeonnage fructifère (7)			
Maîtrise annuelle de la vigueur (9)	Enherbement de l'inter rang			
	Enherbement du rang			
	Couverture permanente			
	Raisonnement de la fertilisation			
Eviter les contaminations (botrytis)	Limiter les blessures mécaniques			
	Désinfecter le matériel de taille après une parcelle contaminée			
	Limiter les blessures dues à des maladies ou ravageurs : protection préventive contre les tordeuses 2ème génération et oïdium			

- **Pour limiter l'usage d'insecticides (Tordeuses de la grappe, Cicadelle de la Flavescence dorée)**

Objectif	Leviers disponibles	Actuellement		Changements pour le système alternatif
		oui	non	
Réduire la population	Confusion sexuelle (10)			
Surveillance de la population	Comptage des glomérules			
Maintien des prédateurs naturels	Surveillance de la faune auxiliaire (Trichogrammes, Syrphes, Chrysopes et Ichneumonidés)			
	contours de parcelles, fossés et tournières entretenus mécaniquement			
	contours enherbés			
	fauche alternée sur les surfaces enherbées			
	Aménagement de refuges artificiels (haies, nids, tas de branches, murs en pierres sèches, reposoirs pour les oiseaux de proie)			

➢ **Pour limiter le volume de bouillie appliquée et le nombre de passages**

Objectif	Leviers disponibles		Actuellement		sur le système alternatif
			oui	non	
Réduire le nombre de passages (2)	Décision de la date du premier traitement selon	La sensibilité de la parcelle			
		L'observation de foyers primaires, de glomérules			
		Les bulletins d'informations			
		La présence de bioagresseurs dans les parcelles voisines			
		Les attaques précédentes			
	Cadence de traitement modulée selon	la pression de bioagresseurs			
		Les conditions climatiques et bulletins			
		la croissance des pousses			
Réduire le volume de bouillie appliqué (1)	Adaptation du volume	à la surface réellement plantée			
		au volume foliaire (stade végétatif)			
		à l'écartement des rangs de vigne			
		à la sensibilité de la vigne (stade)			
		à la pression parasitaire			
	Type de matériel	Face/face			
	Réglage du matériel	Avant chaque traitement			

- **Mesures prophylactiques lors de plantations de vignes**

Objectif	Leviers disponibles	Actuellement		Changements pour le système alternatif
		oui	non	
Surveillance des maladies	Diagnostic de la présence de court-noué et de pourridié			
Rompre le cycle de la maladie	Dévitalisation des vignes court-nouées			
	Elimination des racines porteuses de nématodes			
	Elimination des adventices pérennes			
	Repos du sol 1 an minimum			
	Implantation de culture intermédiaire nématicide			
Assurer des conditions défavorables au développement de maladies fongiques	Eviter les plantations en zone humide			
	Améliorer l'écoulement des eaux (décompaction, fossés, sous-solage)			
	Mulch d'écorces pour faciliter l'infiltration et éviter			
	Choix densité de plantation facilitant la taille en vert			
Eviter les contaminations externes	Matériel végétal garanti indemne de viroses graves et provenant d'une zone non contaminée par la flavescence dorée			
Maîtriser la vigueur	Choix du porte greffe			
	Choix du clone			
	Plusieurs clones par cépages			
	Analyse de sol pour estimer la fumure de fond nécessaire			
Maintien des prédateurs naturels	conservation des talus, haies, fossés			

Annexe IV : Résultats de l'étude du projet ECOPHYTO R&D (Mezière et *al.*, 2009)

Tableau 1. Nombre de passages et coûts indicatifs pour différentes opérations d'entretien mécanique du sol (Mezière et *al.*, 2009)

Type de travail du sol	Nombre de passages	Vitesse (km/h)	Vignes étroites (> 6500 pieds / ha) Temps d'un passage (h/ha)	Vignes étroites (> 6500 pieds / ha) Coût d'un passage (€/ha)[1]	Vignes larges (< 6500 pieds / ha) Temps d'un passage (h/ha)	Vignes larges (< 6500 pieds / ha) Coût d'un passage (€/ha)[1]
chaussage-décavaillonnage	2			137-229	-	55-92
chaussage	1	3-5	2,4-4	91-152	1,1-1,8	36,8-61,4
décavaillonnage	1	1,5-2,5	4,8-8	183-305	2,2-3,6	73,7-122,8
disques-dents	2-4	5-8	1,5-2,4	57-91	0,7-1,08	23,0-36,8
gyrobroyage-tonte	3-5	4-6	2-3	76-114	0,9-1,35	30,7-46,0
travail intercep	2-5	2,5-6	2-4,8	76-183	0,9-2,16	30,7-73,7
rotavator	2-4	3-5	2,4-4	91-152	1,1-1,8	36,8-61,4
manuel (base vignoble Côte Rôtie)	3-4	-	300-450	4023-6035	-	-

Source IFV : Coûts calculés pour un passage tous les inter-rangs et tenant compte du coût horaire de la main d'œuvre, de la traction et du carburant (hors amortissement et entretien du matériel).

[1] Coût horaire de la main d'œuvre : tractoriste =18,11€ / non qualifiée = 13,41€.

Coût horaire de la traction (tracteur et carburant) : tracteur vigneron interligne = 16€ ; tracteur enjambeur vignes étroites = 20€

Consommation de carburant du tracteur = 15L /h. Prix du carburant = 0,8€/L. (valeurs fixées à dire d'expert).

Tableau 2. Niveaux de rupture et indicateurs pour le Languedoc-Roussillon en 2006 (Mezière *et al.*, 2009)

	Niveaux de rupture 0	1	2	3	Ensemble
Nombre de parcelles enquêtées	75	817	63	20	975
Proportion de parcelles extrapolées (%)	6,9	83,7	8,2	1,2	100,0
Superficie de la parcelle (ha)	0,7	0,6	0,5	1,0	0,6
Superficie totale de vigne de cuve de l'exploitation (ha)	23,4	24,3	14,0	40,9	23,5
Rendement (hL/ha)	63,5	56,5	49,4	34,3	56,1
Proportion de parcelles d'AOC (%)	27	45	24	49	42
Indice de maîtrise de la vigueur	0,16	0,19	0,13	0,38	0,19
Cépage dominant[1] (%)	Car (26%)	GrN (21%)	Car (18%)	SyN (26%)	GrN (18%)
Proportion de parcelles avec enherbement permanent (%)	12,2	13,6	23,1	10,7	14,3
IFT* fongicides / IFT* phyto (hors herbicides)	0,79	0,79	0,84	0,82	0,79
IFT phyto (hors herbicides)	15,7	9,1	7,3	7,4	9,4
IFT herbi	0,9	1,0	0,0	0,0	0,9
IFT total	16,6	10,0	6,2	7,4	10,2
IFT* ab	2,9	1,8	1,8	8,1	1,9
IFT* pirrp	1,7	1,3	1,1	0,0	1,3
IFT* prod retirés (hors pirrp)	2,0	1,6	2,0	2,0	1,6
Nombre total d'interventions (phyto+herbi)	9,3	7,4	5,7	7,1	7,4
Coût des produits phytos (€/ha)	372,7	207,9	140,4	218,5	212,2
Coût des interventions phytosanitaires (main d'œuvre+énergie) (€/ha)	101,6	71,2	67,3	86,5	73,1
Coût du désherbage chimique (main d'œuvre+énergie) (€/ha)	42,9	47,3	0,3	0,0	42,6
Coût de l'entretien mécanique du sol[2] (main d'œuvre + énergie) (€/ha)	87,0	77,0	74,9	153,2	78,4
Charges protection phyto et entretien du sol (hors prod. herbicides) (€/ha)	604,2	403,4	282,9	458,2	406,3

L'IFT est calculé selon deux méthodes exposées au § 2. 3. 3.

[1] Car = carignan ; GrN = grenache noir ; SyN = syrah noir ;

Annexe V. Liste des produits phytosanitaires les plus utilisés en viticulture

A. Toxicités des produits phytosanitaires sur les organismes marins, les insectes utiles et pollinisateurs

Produit	Matière active	Toxicité		
		Organismes marins	Insectes pollinisateurs	Organismes utiles pour la vigne
Polyran	**Metirame-zinc**	-	-	peu toxique
Greman	**Tétraconazole**	modérée	modérée	neutre
corail,Milord	**Tébuconazole**	modérée	modérée	peu toxique
Crésus	**Deltamethrine**	élevée	élevée	
Stroby DF	**Kresoxim-méthyl**	modérée	modérée	neutre
Fuoro	**Lufénuron**	modérée	faible	peu toxique
KARATHANE 3D	**Meptyldinocap**	modérée	élevée	pas d'info
EPROM	**Epoxiconazole**	modérée	modérée	pas d'info
AVISO CUP DF	**Cuivre de l'oxychlorure de cuivre**	modérée	modérée	peu toxique
OLYMP 10 EW	**Flusilazole**	modérée	modérée	peu toxique
ALMANACH FLASH	**Fosétyl-Al**	modérée	faible	
RELDAN,EXAQ,Crésus	**Chlorpyriphos-méthyl**	-	toxique	toxique

COLLIS	**Boscalid (510)**	modérée	modérée	-
Prosper,HOGGAR,Milord	**Spiroxamine**	modérée	modérée	-
HELIOTERPEN CUIVRE,kocide DF	**Cuivre de l'hydroxyde de cuivre**	élevé	faible	neutre
SIRBEL UD	**Folpel**	modérée	faible	neutre
NATCHEZ	**Trifloxystrobine**	M/E	faible	
STEWARD	**Indoxacarbe**	modérée	élevée	neutre
SYSTHANE 12 E	**Myclobutanil**	modérée	modérée	peu toxique
SULFOSTAR, kolthio, thiovit	**Soufre micronise**	M/E	modérée	moy toxique
SARMAN M, ALMANACH FLASH	**Mancozèbe**	M/E	faible	toxique
ROUNDUP	**Glyphosate (sel d'isopropylamine)**	Modéré	modérée	neutre
REMILTINE CS PEPITE	**Cuivre de l'oxychlorure de cuivre**	Modéré	modérée	
DURSBAN 2	**Chlorpyriphos-éthyl**	-	modéré	toxique
ROTENOR	**Roténone**			toxique
BACIVERS DF	**Bacillus thuringiensis**	-	-	peu toxique

B. Caractéristiques des produits phytosanitaires : Mobilité, volatilité et potentiel de

Produit	MA	GUS	Potentiel lixiviation	KH à 25°C (Pa m^3 mol^{-1})	Appréciation	KOC (ml g-1)	mobilité	DT50 (jr)	Vitesse de dégradation
Polyran	**Metirame-zinc**	-0,75	faible	5.40 X 10^{-03}	Non-volatil	5.75 X 10^{01}	faible	0,7	RAPIDE
Greman	**Tétraconazole**	1.68	faible	3.60 X 10^{-04}	Non-volatil	1152	légèrement mobile		
corail,Milord	**Tébuconazole**	2	état de transition	1.00 X 10^{-05}	Non-volatil	769	légèrement mobile	STABLE	très persistant
Crésus	**Deltamethrine**	-3.35	faible	3.10 X 10^{-02}	Non-volatil	1E+07	non mobile	17	LENTE
Stroby DF	**Kresoxim-méthyl**	1.82	état de transition	3.60 X 10^{-07}	Non-volatil	308	modérée	34	Persistance modérée
Fuoro	**Lufénuron**	-0.75	faible	3.41 X 10^{-02}	Non-volatil	41182	non mobile	stable	très persistant
KARATHANE 3D	**Meptyldinocap**	-0.75	faible	1.10 X 10^{-02}	Non-volatil	58245	non mobile	43	Persistance modérée
EPROM	**Epoxiconazole**	2.47	état de transition	4.71 X 10^{-04}	Non-volatil	1073	légèrement mobile	stable	très persistant
AVISO CUP DF	**Cuivre de l'oxychlorure de cuivre**	-	-	-	-	-	-	stable	très persistant
OLYMP 10 EW	**Flusilazole**	1.93	état de transition	2.70 X 10^{-04}	Non-volatil	1664	légèrement mobile	stable	très persistant
ALMANACH FLASH	**Fosétyl-Al**	-0.77	faible	3.20 X 10^{-10}	Non-volatil	1703	légèrement mobile	stable	très persistant
RELDAN,EXAQ,Crésus	**Chlorpyriphos-méthyl**								
COLLIS	**Boscalid (510)**	2.51	état de transition	5.18 X 10^{-08}	Non-volatil	809	légèrement mobile	stable	très persistant

HELIOTERPEN CUIVRE,kocide DF	**Cuivre de l'hydroxyde de cuivre**								
SIRBEL UD	**Folpel**	1.02	faible	8.00 X 10^{-03}	non volatil	304	mobilité modérée	0.05	non persistant
NATCHEZ	**Trifloxystrobine**	0.53	faible	2.30 X 10^{-03}	non volatil	2377	légèrement mobile	40	Persistance modérée
STEWARD	**Indoxacarbe**	0.23	faible	6.00 X 10^{-05}	non volatil	6450	non mobile	22	non persistant
SYSTHANE 12 E	**Myclobutanil**	3.20	élevé	4.33 X 10^{-04}	non volatil	517	légèrement mobile	Stable	très persistant
SULFOSTAR, kolthio, thiovit	**Soufre micronise**	1.05	faible	0.05	non volatil	1950	légèrement mobile	Stable	très persistant
SARMAN M, ALMANACH FLASH	**Mancozèbe**	-1.00	faible	5.90 X 10^{-04}	non volatil	998	légèrement mobile	1.3	non persistant
ROUNDUP	**Glyphosate (sel d'isopropylamine)**	-0.36	faible	2.10 X 10^{-07}	non volatil	21699	non mobile	Stable	très persistant
REMILTINE CS PEPITE	**Cuivre de l'oxychlorure de cuivre**	-	-	-	-	-	-	Stable	très persistant
DURSBAN 2	**Chlorpyriphos-éthyl**	-	-	0.478		-	-	72	
ROTENOR	**Roténone**	0	faible	1.13 X 10^{-08}	non volatil	10000	NON MOBILE	1.3	non persistant
BACIVERS DF	**Bacillus thuringiensis**	-	-	-	-	-	-	-	-

C. Les principaux prédateurs du vignoble (Guide des vignobles : Rhône méditerranée, 2010)

	Groupes	Proies
Acariens	Typhlodromes Phytodeides	Acariens phytophages
	Cunaxides	Acariens petits insectes
	Anystides	Petits insectes
	Thrombidiidae	Petits insectes
Araignées	Salticidae	Petits insectes ; Cicadelles vertes
	Thomisidea	Petits insectes
	Araneidae et Theridae	Insectes volants
Insectes	Punaises prédatrices : Mirides, Anthocorides, Nabides	Cicadelles vertes, acariens, insectes
	Chrysopes	Cicadelles vertes, acariens, jeunes chenilles…
	Coccinelles coccidiphages	Larves de chenilles
	Coccinelles acariphages	Acariens
	Conioptérygides	Acariens
	Diptères (Syrphes et Tachinaires	Larves de Lépidoptères

Annexe VI. Liste des experts et viticulteurs sollicités

- pour la construction et la validation du modèle :

- Patrick ANDRIEUX : UMR LISAH
- Christophe GAVIGLIO : IFV Station régionale Midi-Pyrénées
- Sandrine TOURRIERE : Terra Vitis®

- Viticulteurs : M. MASSON (type 1)
  M. FIS (type 2)

- 1ère réunion de concertation avec les groupes qui travaillent sur DEXi

Christelle AISSA-MADANI (Rennes), Céline BERTHIER (Montpellier), Vincent FALOYA (Rennes), Gabriele FORTINO (Grignon-Rennes), Christian GARY (Montpellier), Elise LO-PELZER (Grignon), Philippe LUCAS (Rennes), Antoine MESSEAN (Grignon), Mireille NAVARETTE (Avignon), Marc TCHAMITCHIAN (Avignon).

- 2ère réunion de concertation avec les groupes qui travaillent sur DEXi

Nouraya AKKAL (Rennes), Frédérique ANGEVIN (Grignon), Céline BERTHIER (Montpellier), Vincent FALOYA (Rennes), Gabriele FORTINO (Grignon-Rennes), Elise LO-PELZER (Grignon), Philippe LUCAS (Rennes), Antoine MESSEAN (Grignon).