

Évaluation multicritère des performances socio-économiques et environnementales de systèmes viticoles et de scénarios de transition agroécologique

Nawel Aouadi¹, Francis Macary^{1,*} et Adeline Alonso Ugaglia²

¹ INRAE, UR ETBX, 33612 Cestas, France

² INRAE, UMR SAVE, Bordeaux Sciences Agro, Univ. Bordeaux, 33140 Villenave d'Ornon, France

Résumé – Le défi majeur du monde agricole aujourd’hui est de réduire de façon drastique l’usage des pesticides tout en maintenant un niveau de rendement, de qualité et de rentabilité satisfaisant. Dans le cadre d’un projet de recherche, nous avons étudié l’usage des produits phytosanitaires dans le Bordelais. Nous avons ensuite évalué les performances des systèmes viticoles existants afin de construire des scénarios de changement de pratiques pour réduire le recours aux pesticides, et préserver l’environnement et la santé humaine. Trente-huit viticulteurs pratiquant différents modes de conduite ont été interrogés. Les systèmes ont été évalués en utilisant deux méthodes d’analyse multicritère d’aide à la décision appartenant à la famille des méthodes ELECTRE : ELECTRE Tri-C et ELECTRE III. Sept critères d’évaluation ont été retenus, dont trois pour les performances socioéconomiques (rentabilité économique, charge de travail, complexité du système viticole) et quatre pour les performances environnementales (pression phytosanitaire, écotoxicité des pesticides, pratiques agroécologiques, niveau de la dérive des produits). Trois scénarios de changement de pratiques ont été construits en intégrant les bonnes pratiques identifiées sur le terrain : un scénario conventionnel raisonnable optimisé (*scénario Raisonné-Max*) ; deux scénarios en démarche agroécologique : *Agroécologie* (avec usage optimisé de produits de synthèse) et *Agroécologie-Bio* (sans produits de synthèse). ELECTRE Tri-C a permis d’afficher chaque système viticole ainsi que les trois scénarios dans l’une des quatre catégories prédéfinies de performance. Puis ELECTRE III les a classés dans chaque catégorie. On note une supériorité de la performance socio-éco-environnementale des scénarios agroécologiques et des systèmes biologiques. Cela tient principalement à un niveau de valorisation de la production plus élevé dans ces systèmes et à un niveau de pression phytosanitaire plus faible lié aux pratiques plus favorables au renforcement de la biodiversité. Ces résultats axés sur des démarches concrètes et现实istiques constituent des modèles adaptables à des exploitations viticoles conventionnelles.

Mots clés : viticulture / pesticides / méthodes multicritères d'aide à la décision / ELECTRE / démarche agroécologique

Abstract – Multi-criteria assessment of socioeconomic and environmental performance of wine-growing systems and agroecological transition scenarios. The major challenge for agriculture today is to reduce the pesticide use while maintaining a satisfactory level of yield, quality and profitability. As part of a research project, we studied the use of pesticides in the wine region of Bordeaux. We evaluated the performance of existing viticultural systems and proposed scenarios for changing practices to reduce the reliance on pesticides. We surveyed 39 winegrowers adopting different crop practices. We evaluated the systems using multi-criteria decision aid methods: ELECTRE Tri-C and ELECTRE III. We selected seven criteria of evaluation for socioeconomic performance (economic profitability, workload, and complexity of the system) and environmental performance (pesticide pressure, ecotoxicity of pesticides, agro-ecological practices, pesticide drift). We built three scenarios for changing practices including the best practices identified in the field: the first one optimizes conventional practices (*Maximized-conventional system*); the two others adopt an agroecological approach: *Agroecological system* (with optimized use of synthetic chemicals) and *Agroecology-organic system* (without synthetic chemicals). ELECTRE Tri-C sorted the

* Auteur de correspondance : francis.macary@inrae.fr

existing systems and the three scenarios into one of the four pre-defined categories of performance. Then ELECTRE III classified them in each category. Organic systems as well as agroecological scenarios were assigned into high-level performances. This result can be explained by the high level of profitability and the low level of pesticide pressure in these systems associated to practices that enhance biodiversity in the vineyard. These results, based on realistic approaches, are adaptable models for conventional agriculture.

Keywords: viticulture / pesticides / multicriteria decision aid methods / ELECTRE / agroecological approach

1 Introduction

Pendant un demi-siècle, la très forte augmentation de la productivité en agriculture a été permise grâce à la génétique, à l'agrochimie (fertilisants, pesticides), à la mécanisation et aux différentes structures du développement agricole, sur fond d'accompagnement de la « banque verte » (Pujol et Dron, 1998). Le concept de production visait alors à l'augmentation des rendements des plantes cultivées tout en éliminant les adventices et surtout les maladies cryptogamiques et les ravageurs de ces plantes, à l'encontre de considérations agronomiques et écologiques.

Ainsi, les intrants, principalement fertilisants et pesticides faciles à utiliser et très efficaces, ont été appliqués durant cette période de façon systématique au détriment de la santé des écosystèmes et de celle des humains (Pelt, 2001 ; Angelliaume-Descamps et Tulet, 2005). Leur usage excessif trouve ses conséquences dans la contamination des hydrossystèmes et des sols (Van der Werf, 1996). Les transferts des pesticides d'origine agricole, essentiellement depuis les parcelles d'épandage vers les cours d'eau, sont bien connus (Aubertot *et al.*, 2005). La toxicité des molécules de synthèse, dont certaines cancérogènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR) pour les utilisateurs et les riverains, est désormais avérée (Baldi *et al.*, 2012). Les pesticides ont des effets délétères (directs et indirects) pour de nombreux organismes non-cibles des milieux récepteurs (Gouraud *et al.*, 2001 ; Dorioz et Ombredane, 2004). Malgré toutes les actions de politique publique mises en œuvre pour réduire leurs usages, les constats de la pollution des milieux aquatiques, régulièrement publiés suite aux synthèses des différents acteurs sur le terrain (agences de l'eau, agences régionales de santé), présentent un bilan très lourd de cette situation récurrente depuis les dernières décennies (Angelliaume-Descamps et Tulet, 2005).

Suite au Grenelle de l'environnement en 2007 (MEDDTL, 2010), la loi n°2009-967 a été adoptée avec un objectif de réduction significative des pesticides en dix ans. Ces dispositions ont été mises en œuvre dans le cadre du plan interministériel français Ecophyto (MAP, 2008 ; INRA, 2010). Une telle orientation politique en vue de passer d'un système global productiviste à un système plus durable nécessite de profondes mutations dans l'usage des pesticides et, de façon plus globale, dans les systèmes de production agricole (Bockstaller *et al.*, 2008). Fin 2012, le ministre en charge de l'agriculture a lancé le Projet agroécologique pour la France (MAAF, 2012), en ciblant le retour de l'agronomie au cœur des processus, en relation avec la prise en compte de l'éologie afin de valoriser au mieux les agroécosystèmes et la transition agroécologique (Altieri, 1995 ; Dalgaard *et al.*, 2003 ; Doré *et al.*, 2011). Le plan Ecophyto a ainsi été renforcé afin d'aboutir à la réduction attendue des pesticides (MAAPRAT-MEDD, 2011).

Ce projet agroécologique a permis de mettre en œuvre des travaux de recherche dans une démarche originale d'intégration, relatifs à l'usage des pesticides dans les agrosystèmes, notamment en viticulture, à leurs transferts et impacts dans les écosystèmes connexes, ainsi que l'évaluation des effets de changements de pratiques par modélisation de différents scénarios. Il a suscité de multiples approches scientifiques pluridisciplinaires (agronomie, chimie environnementale, hydrobiologie, écologie, écotoxicologie, socioéconomique).

En agronomie, nous avons évalué les performances socioéconomiques et environnementales d'une quarantaine de systèmes viticoles (activité de culture de la vigne sur chaque exploitation) dans la zone d'étude. Cette approche a permis de nourrir la réflexion pour la construction de scénarios de changement de pratiques, en favorisant une véritable démarche agroécologique, pour réduire la pression et l'impact phytosanitaire sur les écosystèmes. Ces scénarios ont été évalués et comparés avec les résultats de performances des systèmes viticoles existants.

2 Matériels et méthodes

2.1 Acquisition des données sur les pratiques viticoles et choix décisionnels des viticulteurs

La zone d'étude est localisée dans la région viticole du Bordelais. Elle intègre un bassin versant expérimental (BVE) qui s'étend sur 830 ha, dans le nord du département de la Gironde. L'activité agricole prépondérante dans la zone d'étude est la viticulture (53 % de la surface agricole utile [SAU]). Le reste de la superficie est occupé principalement par des prairies permanentes et des forêts. Ce BVE a été complété par une approche agronomique à l'échelle du nord de la Gironde, afin d'obtenir une plus grande variété de modes de conduite viticole et de pratiques. En effet, sur le BVE, se trouve une coopérative viticole importante : les vigneron de Tutiac (450 adhérents, 5000 ha de vignes en Appellation d'origine protégée [AOP] en Bordelais, 250 000 hectolitres de vin produits par an) dont l'influence locale en termes de modes de conduite de la vigne est très forte. Nous avons pu observer d'autres initiatives dans la zone d'étude élargie.

Nous avons interrogé 38 viticulteurs professionnels, coopérateurs et indépendants, dans cette région viticole (Aouadi et Macary, 2018), qui mettent en œuvre différents modes de conduite (conventionnel raisonné, biologique, biodynamique, démarche agroécologique). Cette enquête visait à caractériser les pratiques agricoles adoptées par les viticulteurs en termes de protection phytosanitaire de la vigne (produits utilisés, doses appliquées, matériel de pulvérisation et surtout leurs critères de décision dans le choix des traitements effectués), ainsi qu'en termes de gestion de l'inter-rang (enherbement et travail du sol) et du cavaillon (entre deux pieds sur le rang), mais aussi de travaux en vert de

la vigne (ex.: ébourgeonnage, effeuillage). Les données techniques récoltées ont permis d'établir un itinéraire technique moyen pour le mode de conduite de chaque système viticole, par exploitation étudiée. Des informations sur la production viticole (rendement, type de vin produit), ainsi que des données sur les charges de mécanisation et de main-d'œuvre, ont aussi été recueillies pour le calcul des résultats économiques moyens par hectare.

Dans ces enquêtes, les viticulteurs indiquent le plus souvent être attentifs au nombre maximal d'interventions phytosanitaires par année culturelle, compte tenu des impacts sur l'environnement, de la santé et du coût des traitements. Les trois critères de décision les plus cités pour déclencher les traitements sont : les conditions météorologiques, les observations dans le vignoble et les avertissements agricoles ainsi que les autres messages des divers conseillers. Les traitements ne sont pas renouvelés automatiquement une fois la durée de rémanence achevée, à la condition que la météo soit favorable et que le risque parasitaire soit faible. Les parcelles sont conduites majoritairement en mode conventionnel raisonné, avec un développement progressif de la viticulture biologique, voire de la biodynamie. Une exploitation biologique a développé des concepts d'agroécologie et constitue *in situ* un modèle réel pour la construction des scénarios d'orientation des systèmes conventionnels vers une approche agroécologique.

2.2 Évaluation des performances des systèmes viticoles

L'objectif est d'évaluer le niveau de performances socio-éco-environnementales de chaque système viticole (activité de culture de la vigne au sein d'une exploitation agricole) suivant les pratiques mises en œuvre, en les comparant à des « standards » que nous avons établis suivant quatre catégories (très bonnes, bonnes, moyennes, faibles). Nous avons alors choisi des critères représentatifs des performances socio-économiques et environnementales (*cf.* paragraphe suivant). Il ne s'agit donc pas de comparer les résultats réels d'exploitations viticoles, comme cela se fait dans les centres de gestion agricole. On cherche ici à évaluer les performances de chaque système par le prisme des pratiques viticoles associées. On tient compte de l'efficacité de ces performances en matière de réduction de l'usage des produits phytosanitaires, tout en conservant un bon niveau de résultat économique, base de fonctionnement de toute entreprise. La figure 1 présente la démarche globale mise en œuvre.

2.2.1 Choix de la méthode

Nous avons envisagé plusieurs méthodes multicritères, dont les méthodes MASC ([Sadok *et al.*, 2009](#)) et DEXi-PM vigne ([Pelzer *et al.*, 2012](#)), lesquelles ne pouvaient s'appliquer ici. En effet, elles proposent une diversité de critères et d'indicateurs dont certains auraient été difficiles à renseigner dans cette étude, par exemple des critères dont le calcul est basé sur la description du milieu (sol et climat) et qu'il faut estimer à l'échelle de la parcelle.

De plus, l'utilisation de ces modèles dans leur intégralité n'est pas utile pour notre travail. Leur utilisation partielle en sélectionnant les critères et indicateurs d'intérêt peut

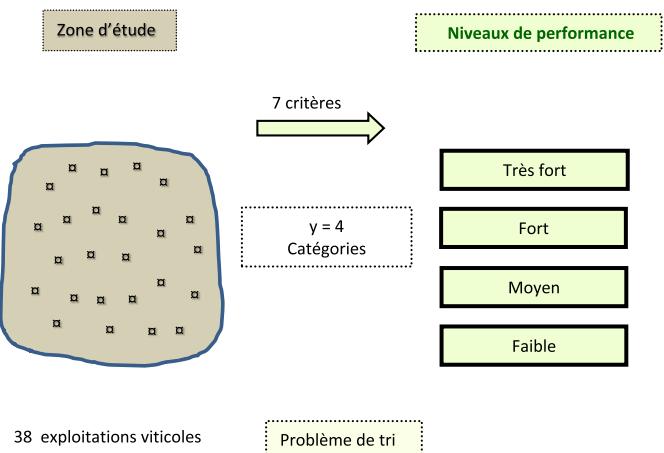


Fig. 1. Schéma global de la démarche méthodologique.
Fig. 1. Global diagram of the methodological approach.

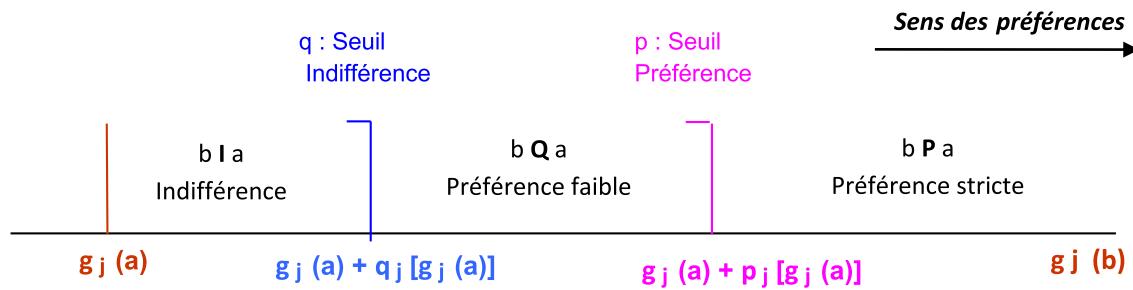
compromettre leur fonctionnement et les résultats produits, aussi a-t-elle semblé peu pertinente ici.

Dans cette étude, nous avons choisi des méthodes multicritères pour l'aide à la décision de la famille ELECTRE (Élimination et Choix Traduisant la Réalité), dites de surclassement, développées par [Roy \(1968, 1985\)](#) et son équipe à l'université Paris-Dauphine à partir de la fin des années 1960. Ces méthodes ont déjà été utilisées au sein de l'équipe agronomique du projet, dans différents contextes agroenvironnementaux depuis une quinzaine d'années ([Macary *et al.*, 2010, 2013a, 2013b, 2014](#)). Elles présentent plusieurs avantages, tels que la possibilité de prendre en compte des critères qualitatifs et quantitatifs, et de pondérer les critères retenus. De plus, elles acceptent l'égalité ou l'incomparabilité des alternatives (ici les systèmes viticoles), ainsi que la notion de préférence faible d'une alternative par rapport à une autre, ou par rapport à une alternative de référence. Pour ces travaux, nous avons d'abord choisi une méthode utilisable dans le cadre d'une problématique de tri des alternatives : ELECTRE Tri-C ([Almeida-Dias *et al.*, 2010](#)), dans le but d'affecter chaque système viticole à une catégorie de niveau de performance prédéfinie. Nous avons également utilisé la méthode de classement ELECTRE III afin de hiérarchiser ensuite les différents systèmes affectés au sein de la même catégorie de performances.

Le principe du surclassement ([Roy, 1968](#)) consiste soit à comparer une alternative avec chacune des autres, critère par critère (méthode de rangement, type ELECTRE III), et d'aboutir ainsi à un classement par rang ; soit à comparer chaque alternative avec des alternatives virtuelles créées pour définir chaque catégorie de niveau de performance (méthode de tri d'affectation, type ELECTRE Tri-C), en accord avec les préférences du décideur. Dans le second cas, chaque catégorie de performances est définie par une valeur caractéristique de chaque alternative pour chacun des critères. La figure 2 illustre le principe du surclassement.

2.2.2 Critères et indicateurs d'évaluation

Après concertation avec les professionnels agricoles et divers experts agronomes et économistes (INRA Bordeaux,



$g_j(a)$ = valeur de la performance de l'alternative a par rapport au critère j

I, Q, P, représentent les relations de préférences

Source : Macary et al. (2010).

Fig. 2. Principe du surclassement (méthodes ELECTRE).

Fig. 2. Principle of outranking (ELECTRE methods).

Tableau 1. Liste des critères retenus pour l'évaluation des performances des systèmes viticoles.

Table 1. List of criteria used to assess the performance of wine-growing systems.

Nom du critère	Descripteur
CR1 (REN) : la rentabilité du système viticole <i>(Quantitatif)</i>	Marge du système viticole = produit brut – charges opérationnelles – charges de mécanisation – main-d’œuvre
CR2 (PPS) : la pression phytosanitaire <i>(Quantitatif)</i>	IFT: indice de fréquence de traitement (au niveau du système viticole)
CR3 (IRE) : le risque d’écotoxicité des produits phytosanitaires <i>(Quantitatif)</i>	IRTE : indice théorique de risque de toxicologie vis-à-vis de l’environnement
CR4 (PAE) : les pratiques agroécologiques <i>(Qualitatif)</i>	Nature de l'enherbement de l'inter-rang – désherbage du cavaillon – infrastructures agroécologiques (bandes enherbées, bandes fleuries, plantation ou entretien de haies ; hôtel à insectes, nichoirs) – usage de produits de bio-contrôle
CR5 (PUL) : le niveau de dérive lors de la pulvérisation <i>(Qualitatif)</i>	Nature de l'appareil de pulvérisation : appareil confiné majoritairement ; appareil face par face majoritaire/panneaux récupérateurs ; appareil aéroconvection majoritaire/autre de meilleure qualité ; appareil aéroconvection ; appareil pneumatique
CR6 (TRA) : la charge de travail pour l'activité vigne <i>(Quantitatif)</i>	Somme du nombre d'heures de travail mécanique pondéré et du nombre d'heures de travail manuel
CR7 (SYS) : la complexité de la mise en œuvre du système <i>(Qualitatif)</i>	Nombre d'opérations mécaniques et manuelles ainsi que la disposition du parcellaire

Bordeaux Sciences Agro) dans le choix des critères d'évaluation, nous avons retenu sept critères décrits dans le tableau 1, pour évaluer les performances socioéconomiques et environnementales des systèmes viticoles étudiés. Toutes les valeurs indiquées sont alors une moyenne par critère calculée à l'échelle de chaque système.

Le critère rentabilité CR1-REN (quantitatif), eu égard à son importance, a été évalué en calculant « une marge des systèmes viticoles ». Cette marge est estimée pour une année normale en termes de production, c'est-à-dire sans aléa climatique (gel, grêle, excès de pluviométrie). Dans ces conditions, on considère l'obtention du rendement fixé par le décret de l'appellation pour tous les systèmes. Elle est calculée de la façon suivante :

Marge du système viticole (€/ha) = (Rémunération forfaitaire/ ha) – charges opérationnelles (pesticides et carburant) – charges de mécanisation – main-d’œuvre (mécanique et manuelle).

Le calcul économique des coûts a été réalisé à partir de référentiels technico-économiques standard. Par exemple, nous avons utilisé la base de données du Bureau commun du machinisme agricole (BCMA) pour calculer les charges de mécanisation.

Nous avons considéré six référentiels de rémunération forfaitaire par hectare de la production : un référentiel conventionnel basique, quatre référentiels conventionnels intermédiaires et un référentiel bio. Ces référentiels sont établis en tenant compte d'un certain nombre de pratiques, par

exemple celle de l'ébourgeonnage et de l'épamprage, le type d'enherbement, le niveau de la vigueur de la vigne. Le niveau de rémunération varie de 5400 €/ha à 8000 €/ha.

La pression phytosanitaire CR2-PPS (critère quantitatif) a été évaluée par l'indice de fréquence de traitement, que nous avons calculé pour l'ensemble des systèmes étudiés, à partir des enregistrements des traitements phytosanitaires de chaque viticulteur.

Le risque d'écotoxicité des produits phytosanitaires CR3-IRE (quantitatif) est évalué par le calcul de l'indice de risque de toxicologie vis-à-vis de l'environnement (IRTE). Cet indice évalue les impacts écotoxicologiques sur les organismes vivants non cibles (les invertébrés terrestres, les oiseaux herbivores, les organismes aquatiques). La valeur retenue est la moyenne calculée à l'échelle du système. Cet indice a été développé à l'Institut agronomique méditerranéen de Montpellier (IAMM), en utilisant le logiciel de calcul EtoPhy ([Mghirbi *et al.*, 2016](#)), et a été calculé pour ce projet.

La charge de travail pour l'activité vigne (CR6-TRA quantitatif) tient compte du nombre d'heures mécaniques et manuelles moyennes par hectare enregistrées pour chaque système étudié.

Les notations relatives aux trois critères qualitatifs sont détaillées dans les annexes 1 à 3 (voir le lien en fin d'article). L'annexe 1 présente la notation pour le critère CR4-PAE – Pratiques agroécologiques ; l'annexe 2 celle de la qualité de la pulvérisation (critère CR5-PUL) ; l'annexe 3 la complexité du système viticole (critère CR7-SYS).

Les données d'entrée des modèles ELECTRE sont intégrées dans une matrice des performances (annexe 4) qui présente pour chaque alternative (système viticole), les valeurs calculées pour les critères quantitatifs et les notes attribuées pour les critères qualitatifs. Ces travaux ont déjà été réalisés dans d'autres contextes de transferts de pesticides et d'azote sur des bassins versants en grande culture ([2013a, 2013b, 2014](#)).

2.2.3 Paramétrage des modèles ELECTRE TRI-C et ELECTRE III

Une pondération des critères d'évaluation a été réalisée en utilisant la méthode SRF (Simos, Roy et Figueira) : il s'agit de la technique du jeu de cartes avec positionnement de chaque critère représenté par une carte dans une suite linéaire de préférence croissante (*ex aequo* possible) et des écarts introduits entre chaque carte. Puis on indique le rapport entre le poids du critère dominant par rapport au dominé. Le logiciel SRF ([Figueira et Roy, 2002](#)) transforme ces intervalles en pourcentages de poids ([Tab. 2](#)).

Cette étape a été réalisée en partenariat avec quatre viticulteurs conventionnels et biologiques et trois conseillers viticoles de la zone d'étude, six agronomes de l'enseignement supérieur et de la recherche. Une dizaine de tests de pondération ont été réalisés dans le but d'obtenir la meilleure combinaison entre l'ordre d'importance de ces critères et leurs poids respectifs.

La pondération optimale à partir des résultats issus du logiciel SRF résulte de l'évaluation du meilleur compromis au sein du groupe d'experts. Le choix retenu est indiqué dans le tableau 2.

Tableau 2. Pondération des critères.

Table 2. Weight of criteria in the model.

	Critères	Poids (%)
CR1	Rentabilité économique (REN)	22
CR2	Pression des pesticides (PPS)	20
CR3	Risques d'écotoxicité (IRE)	15
CR4	Pratiques agroécologiques (PAE)	13
CR5	Qualité de la pulvérisation (PUL)	13
CR6	Charge de travail (TRA)	10
CR7	Complexité du système (SYS)	7

Une valeur caractéristique permettant de définir chaque catégorie de performance a été attribuée pour tous les critères, en se basant sur les valeurs statistiques du premier quartile, de la médiane et du troisième quartile pour les valeurs quantitatives, en gardant un écart quasi identique entre chaque catégorie ([Tab. 3](#)). Le modèle effectue une comparaison de chaque système étudié avec chaque catégorie de référence pour chaque critère. Puis les fonctions d'agrégation (surclassement) permettent d'affecter chaque système à l'une des quatre catégories prédéfinies.

2.3 Construction des scénarios de changement de pratiques

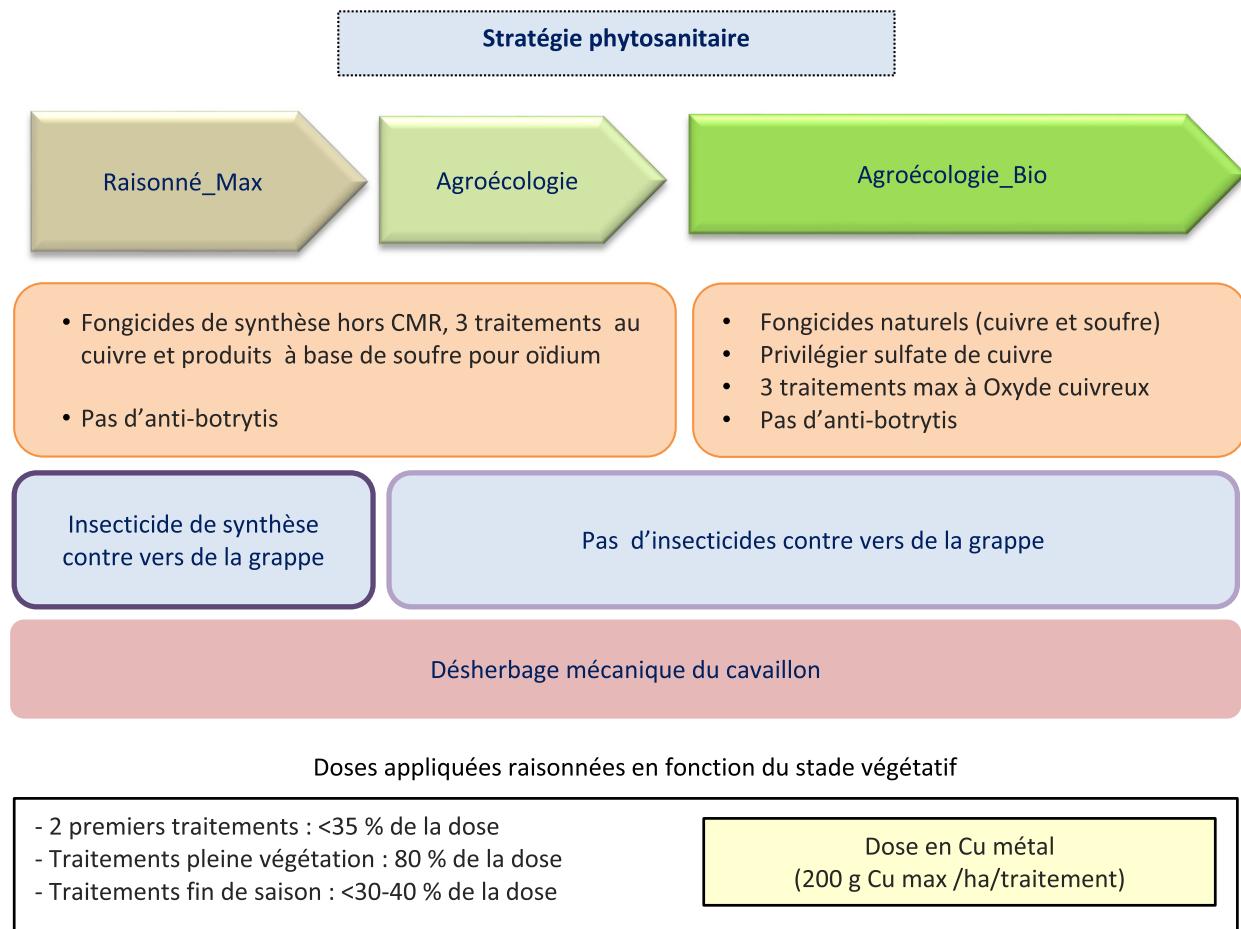
Nous avons fait le choix, en concertation avec les acteurs professionnels réunis en plusieurs groupes, de construire des scénarios ambitieux sur le plan de la transition agroécologique, mais tout à fait réalistes, c'est-à-dire en tenant compte de modes de conduite et de pratiques déjà existants dans la zone d'étude, mais non rencontrés au sein d'un même système viticole. En effet, le but de cette démarche est d'apporter une aide à la décision aux conseillers chargés de porter les bonnes pratiques et de sensibiliser de façon pragmatique les viticulteurs eux-mêmes, seuls à décider d'un changement de pratique et d'une orientation vers une transition agroécologique.

Ainsi, trois scénarios de changements de pratiques ont été proposés en combinant des bonnes pratiques existantes observées sur le terrain dans le but de réduire le recours aux pesticides, tout en gérant au mieux les formulations à base de cuivre les moins écotoxiques (sulfate), en supprimant les CMR de synthèse ([Fig. 3](#)) et herbicides ([Fig. 4](#)). La construction de ces scénarios a été réalisée en impliquant des acteurs de terrain, particulièrement quelques viticulteurs et des conseillers de terrain. En effet, l'enquête réalisée au début du projet a permis, entre autres, d'identifier leurs contraintes techniques et économiques ainsi que leurs besoins vis-à-vis des changements de pratiques. Un des éléments les plus importants qui ressort des différentes concertations est la faisabilité technique des nouvelles pratiques en termes de matériel et surtout de charge de travail.

Ces trois scénarios ([Fig. 3](#) et [4](#)) ont ainsi été bâti en optimisant au maximum le raisonnement des viticulteurs conventionnels (scénario 1 : *Raisonné-Max*) et en adoptant les bonnes pratiques agroécologiques dans les deux autres, mais avec la possibilité d'utiliser des produits phytosanitaires de

Tableau 3. Valeurs caractéristiques des quatre catégories de performances par critère.**Table 3.** Characteristic values defined by criterion for each level of performance.

Performance (unité)	REN (€/ha)	PPS (IFT)	IRE (note)	PAE (note)	PUL (note)	TRA (heures/ha)	SYS (note)
Très forte	3300	10,5	3500	53	8	230	12
Forte	2700	13	4500	38	6	250	20
Moyenne	2100	15,5	5500	23	4	270	28
Faible	1500	17	6500	8	1	290	36

**Fig. 3.** Construction des trois scénarios d'évolution des modes de conduite : stratégie phytosanitaire.**Fig. 3.** Construction of the three scenarios for the evolution of production practices: phytosanitary strategy.

synthèse, hors CMR et herbicides dans le scénario 2 (*Agroécologie*) et en restant en mode biologique dans le scénario 3 (*Agroécologie-Bio*).

La stratégie phytosanitaire dans les scénarios consiste à supprimer tous les produits CMR, les désherbants dans l'inter-rang et sous le cavaillon, les fongicides anti-botrytis, ainsi que les insecticides contre les vers de la grappe dans les scénarios 2 et 3, car ils sont compensés par les pratiques agroécologiques. On prévoit un seul traitement insecticide contre les tordeuses de la grappe dans le scénario 1.

La gestion du sol repose sur le maintien d'un couvert végétal : engrais vert résultant d'un mélange de graines de graminées et légumineuses, puis roulage du couvert pour

assurer la pérennité des espèces, en scénarios 2 et 3. Pour le scénario 1, un engrais vert est semé un rang sur deux et l'autre rang est en couvert naturel.

Dans les trois cas, les infrastructures agroécologiques présentent des tournières (bordures) enherbées et fleuries. De plus, dans les scénarios 2 et 3, il est prévu l'entretien et la plantation de haies ou d'arbres de différentes essences ainsi que la mise en place de nichoirs pour oiseaux, de refuges pour chauves-souris et de pièges à insectes. L'adoption de ces pratiques agroécologiques permet de rétablir les régulations biologiques naturelles et de supprimer les traitements insecticides (exceptés ceux obligatoires par arrêté préfectoral, contre la cicadelle, vecteur de la flavescence dorée).

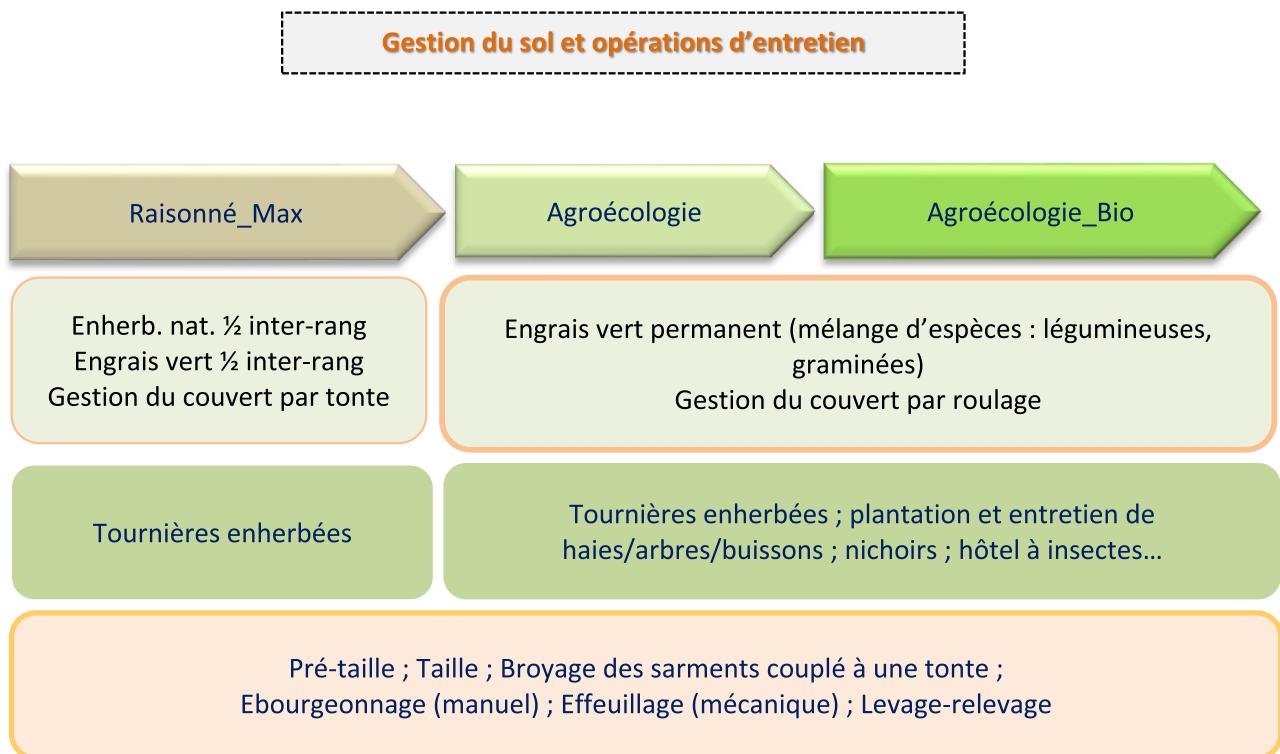


Fig. 4. Construction des trois scénarios d'évolution des modes de conduite : gestion du sol et opération d'entretien.

Fig. 4. Construction of the three scenarios for the evolution of production practices: soil management and maintenance operations.

3 Résultats

Le tableau 4 résume les résultats de l'évaluation multicritère des 38 exploitations et des scénarios de changement de pratiques en utilisant le modèle ELECTRE Tri-C. Le modèle a affecté chaque système à une des catégories de performances prédéfinies sans pour autant les classer au sein de ces catégories.

L'évaluation multicritère des performances des 38 exploitations viticoles caractérisées *a posteriori* par les modes de conduite montre un niveau de performance supérieur pour les systèmes en mode biologique. En effet, deux systèmes viticoles biologiques sont classés dans la performance globale très forte, les autres dans la performance forte. Dans cette catégorie, on retrouve aussi un système viticole certifié et trois systèmes conventionnels raisonnés.

La supériorité des systèmes biologiques par rapport aux autres s'explique par une valorisation économique du produit plus importante et un niveau de pression phytosanitaire plus faible (l'indice de fréquence de traitement [IFT] représente environ 50 % de celui des conventionnels) due à l'absence des herbicides et des insecticides classiques. En revanche, les formules cupriques classiquement utilisées dans ces systèmes contre le mildiou (notamment sous forme d'hydroxyde et d'oxyde cuivreux, moins facilement lessivables par des averses que le sulfate de cuivre) peuvent avoir une écotoxicité importante, estimée dans cette étude par le critère CR3–IRE.

Il est aussi à noter que le niveau de charge de travail dans les systèmes biologiques est plus élevé que dans les autres modes de conduite, ce qui rend plus difficile l'acceptabilité de ces systèmes par les viticulteurs dans des exploitations de grande surface.

Concernant les trois scénarios de changement de pratiques, les scénarios 2 et 3, en démarche agroécologique globale sur un même système, se situent à un niveau de performances très fortes alors que le scénario 1, en mode conventionnel raisonnable maximal, se situe dans la catégorie inférieure mais néanmoins jugée forte. Il se situe au niveau de systèmes conduits en mode biologique et de certains conventionnels très raisonnés proches de ce mode, mais sans labellisation.

En revanche, les bonnes pratiques dites agroécologiques ne sont présentes que très partiellement sur les exploitations conventionnelles, voire pas du tout le plus souvent, contrairement à leur simulation dans le scénario 1.

Sachant que les mêmes référentiels économiques ont été appliqués pour les exploitations réelles et simulées, ces dernières, dans le cadre des scénarios 2 et 3, ont été optimisées sur le plan économique, à savoir qu'elles bénéficient du forfait de rémunération par hectare maximal. Elles sont également plus performantes sur le plan environnemental : réduction de la pression, de l'écotoxicité et adoption optimale de pratiques agroécologiques.

4 Discussion

Le changement de mode de conduite et de pratiques par les viticulteurs, notamment afin de réduire la pression phytosanitaire et le degré d'écotoxicité sur l'environnement et les humains, ne peut se faire que sous conditions de rentabilité constante, voire améliorée par rapport au système viticole actuel. Pour cela, il est essentiel de pouvoir mettre à disposition des acteurs socioprofessionnels des outils d'aide à la décision et dans un premier temps de présenter des résultats d'analyses

Tableau 4. Performances socioéconomiques et environnementales des 38 systèmes viticoles étudiés et des trois scénarios.**Table 4.** Socioeconomic and environmental performances of the 38 wine-growing systems studied and the three scenarios.

Catégorie	Performances	Systèmes viticoles	Effectifs
C4	Très fortes	<i>SC3</i> <u><i>SC2</i></u> <i>SV59</i>	3 (7,3 %)
C3	Fortes	[<i>SC1, SV42</i>] [<i>SV09, SV38, SV62</i>] [<i>SV40, SV56, SV61, SV67</i>] [<i>SV07, SV55</i>] [<i>SV54, SV39</i>]	13 (31,7 %)
C2	Moyennes	SV36 SV63 [<i>SV32, SV58, SV65</i>] [<i>SV33, SV50, SV53</i>] [<i>SV10, SV60, SV66, SV68</i>] [<i>SV05, SV52</i>] SV04 SV11 [<i>SV08, SV31</i>] [<i>SV18, SV57</i>] SV51 [<i>SV23, SV64</i>]	23 (56 %)
C1	Faibles	SV22 SV34	2 (5 %)

En caractères gras : SV Bio ; en caractères soulignés : SV certifié environnemental ; en caractères droits : SV raisonnable ; en caractères italiques : SC scénario de SV.

multicritère de systèmes existants et de scénarios construits, favorables à ces changements.

Le choix des trois scénarios a été effectué à partir de l'analyse des résultats des performances des 38 systèmes étudiés. Le système réel conduit en démarche agroécologique et en mode biologique atteint les meilleures performances. Mais les systèmes conduits en mode biologique, et certains en mode conventionnel très raisonnés, se situent au niveau fort de performances. Nous avons alors construit deux scénarios agroécologiques afin d'orienter ces exploitations vers la transition agroécologique, dont un utilisant des pesticides de synthèse hors CMR, et un autre en mode biologique. Les systèmes conventionnels situés à un niveau moyen, voire faible, de performances auront du mal à s'inscrire dans la transition agroécologique en suivant un raisonnement holistique. Néanmoins, il existe une marge de progression importante vers l'adoption de bonnes pratiques afin d'aboutir à un niveau de raisonnement plus proche d'une orientation vers une transition écologique. C'est la raison pour laquelle nous avons également bâti un troisième scénario intitulé « *Raisonné Max* ».

Les méthodes ELECTRE d'aide à la décision correspondent bien à nos besoins d'analyse et de démonstration. Nous avions à répartir les 38 systèmes viticoles étudiés, ainsi que

ceux issus des trois scénarios prospectifs dans l'une des quatre catégories prédefinies de performances socio-éco-environnementales. Nous avons établi une hypothèse de rémunération forfaitaire par hectare suivant le mode de conduite et les pratiques viticoles, en considérant que chaque système atteint le rendement de l'appellation. Cela nous a ainsi permis de comparer les pratiques des systèmes viticoles et non pas les résultats économiques de chaque exploitation agricole, car elles comprennent assez souvent au moins un autre atelier de production, notamment les asperges. De plus, cela nous affranchit des épisodes météorologiques difficiles (gel, grêle, pluviométrie ou sécheresse excessives...) qui introduiraient un biais significatif dans l'analyse des résultats non imputables aux pratiques mises en œuvre.

Toutefois, l'évaluation de rémunération forfaitaire par hectare pénalise les exploitations sous label, performantes d'un point de vue environnemental mais dont le niveau de rentabilité est ici sous-estimé par rapport à la réalité du terrain. En effet, le plus souvent, ces viticulteurs commercialisent directement leurs bouteilles et le label « Bio » notamment leur permet de mieux valoriser les produits. En revanche, outre le fait qu'il est quasi impossible d'avoir l'information relative aux ventes directes pour l'ensemble des exploitations, comme rappelé précédemment, l'objectif n'est pas ici de comparer les seuls résultats comptables, mais les performances liées aux pratiques.

Cette méthode a permis de bien discriminer ces différents systèmes, eu égard aux différentes hypothèses retenues. Elle est tout à fait généralisable aux différentes régions de pays viticoles ; il suffit d'adapter les référentiels techniques et économiques de notation des critères aux contraintes locales.

Les performances très fortes obtenues par les deux scénarios agroécologiques et deux systèmes en mode agrobiologique, dont les deux viticulteurs bénéficient d'une parfaite maîtrise technique et environnementale, permettent de montrer que ce niveau ne relève pas d'une simple utopie de la part du monde académique. Ces systèmes peuvent clairement servir de modèles de transition pour la viticulture conventionnelle, largement au-delà de la zone d'étude. Ils démontrent que la mise en œuvre d'une véritable démarche agroécologique au sein du vignoble est non seulement très favorable sur un plan agroenvironnemental, avec un gain essentiel pour la biodiversité végétale et animale, mais également sur un plan socioéconomique. La rentabilité de tels systèmes est bien assurée, et ce d'autant que nous n'avons pas intégré ici les démarches commerciales.

Les performances fortes correspondent au scénario « *Raisonné Max* », partagées par des systèmes bio ou avec d'autres signes de qualité : Terras-Vitis, SME (Système de management environnemental du Comité interprofessionnel des vins de Bordeaux), HVE niveau 3 (Haute valeur environnementale, label créé par le ministère en charge de l'agriculture à l'issue du Grenelle de l'environnement), ainsi que des viticulteurs en mode conventionnel raisonnable, sans demande de label particulier, mais dont les pratiques sont déjà quasiment identiques à celles des groupes précédents.

Les viticulteurs conventionnels peuvent ainsi trouver dans ces résultats des effets incitatifs concrets à un changement de mode de conduite et de pratiques dans leur vignoble.

5 Conclusion

Dans cette étude, nous avons conçu et évalué de nouveaux systèmes viticoles intégrant des pratiques agroécologiques, en utilisant une démarche participative et des outils d'aide à la décision multicritère. Les sept critères environnementaux et socioéconomiques retenus en collaboration avec les professionnels de la filière viticole présentent une pertinence et une efficacité pour l'analyse régionale des systèmes. Par ailleurs, leur généricité permet de les utiliser dans les différentes régions viticoles. Les méthodes multicritères d'aide à la décision ELECTRE Tri-C ont permis de bien discriminer les 38 systèmes viticoles étudiés dans le Bordelais, ainsi que trois nouveaux scénarios prospectifs modélisés en vue d'une orientation vers une transition agroécologique. Le niveau de performance très forte est obtenu avec les deux scénarios modélisés en mode agroécologique ainsi qu'un système réel chez un viticulteur biologique et en démarche agroécologique. Le niveau très fort comprend le scénario 3 d'un système modélisé en mode conventionnel très optimisé vers les bonnes pratiques, des systèmes en mode biologiques, quelques systèmes conventionnels très raisonnés, voire en certification particulière (ex. Terras-Vitis).

Ces résultats permettent de montrer qu'il est tout à fait envisageable d'adapter les modes de conduite de la vigne et les pratiques conventionnelles dans le courant de la transition agroécologique, en vue notamment de pouvoir contribuer à la réduction drastique de l'usage des produits phytosanitaire dans le vignoble. Ils permettent ainsi de valoriser ces informations auprès de la majorité de viticulteurs en mode conventionnel plus ou moins raisonné, sur la base de démarches concrètes. Toutefois, cela requiert un certain niveau de compétences et une disponibilité sur le terrain pour l'observation et la mise en œuvre des pratiques agroécologiques qui favorisent les processus biologiques naturels. De plus, un accompagnement personnalisé par des conseils spécifiques est généralement nécessaire, ainsi qu'un partage d'expériences en réseau avec d'autres viticulteurs, y compris d'autres régions.

Matériel supplémentaire

Annexe 1. Notation du critère CR4 (pratiques agroécologiques).

Annexe 2. Notation du critère CR5 (qualité de la pulvérisation).

Annexe 3. Notation du critère CR7 (complexité du système viticole).

Annexe 4. Matrice des performances des systèmes viticoles.

Le matériel supplémentaire est disponible sur <https://www.cahiersagricultures.fr/10.1051/cagri/2020016/olm>.

Remerciements. Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet PhytoCOTE avec le soutien financier de l'Agence nationale de la recherche (ANR) dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir, au sein du Laboratoire d'excellence COTE (ANR-10-labex-45), et de la région Nouvelle-Aquitaine (2015-1R20602). Nous remercions tous les viticulteurs de la coopérative de Tutiac et les indépendants, ainsi que tous les conseillers viticoles pour leur appui permanent au cours du déroulement de ce projet.

Références

- Almeida-Dias J, Rui-Figueira J, Roy B. 2010. ELECTRE TRI-C: a multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions. *European Journal of Operational Research* 204: 565–580. DOI: [10.1016/j.ejor.2009.10.018](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.10.018).
- Altieri MA. 1995. Agroecology: the science of sustainable agriculture, 2nd ed. Boulder, USA: Westview Press.
- Angelliaume-Descamps A, Tulet JC. 2005. Agriculture et environnement. In : Vergnolle-Mainar C, Desailly B, eds. *Environnement et sociétés : territoires, risques, développement, éducation*. Toulouse, France: CRDP Midi-Pyrénées, pp. 43–154.
- Aouadi N, Macary F. 2018. Multiple Criteria Decision Aiding method to assess vine production systems performances concerning pesticides and health near Bordeaux metropole. In: *88th Meeting of the EURO Working Group on Multiple Criteria Decision Aiding (EWG-MCDA)*, 27–29 September 2018, Lisbon.
- Aubertot JN, Barbier JM, Carpentier A, *et al.*, eds. 2005. Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective INRA, Cemagref. Paris, France: INRA, Cemagref.
- Baldi I, Lebailly P, Rondeau V, *et al.* 2012. Levels and determinants of pesticide exposure in operators involved in treatment of vineyards: results of the PESTEXPO study. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 22: 593–600. DOI: [10.1038/jes.2012.82](https://doi.org/10.1038/jes.2012.82).
- Bockstaller C, Guichard L, Makowski D, Aveline A, Girardin P, Plantureux S. 2008. Agri-environmental indicators to assess cropping and farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 28: 139–149. prodinra.inra.fr/record/21282.
- Dalgaard T, Hutchings NJ, Porter JR. 2003. Agroecology, scaling and interdisciplinarity. *Agriculture Ecosystems & Environment* 100: 39–51. DOI: [10.1016/S0167-8809\(03\)00152-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00152-X).
- Doré T, Makowski D, Malézieux E, Munier-Jolain N, Tchamitchiane M, Tittonell P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *European Journal of Agronomy* 34: 197–210. hal-agroparistech.archives-ouvertes.fr/hal-01355604.
- Dorioz JM, Ombredane D. 2004. Bassin versant et qualité biologique des cours d'eau. Effets de la gestion des bassins versants sur les transferts particulaires et dissous et sur la qualité biologique des eaux de surface en zone d'élevage. Action structurante INRA-Cemagref «AQUAE». Rapport de travaux de recherches pour la gestion des agrosystèmes et les conséquences sur les hydro-systèmes. Paris, France: INRA, Cemagref.
- Figueira J, Roy B. 2002. Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with a revised Simos procedure. *European Journal of Operational Research* 139(2): 317–326. DOI: [10.1016/S0377-2217\(01\)00370-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00370-8).
- Gouraud V, Baglinière JL, Baran P, Sabaton C, Lim P, Ombredane D. 2001. Factors regulating brown trout populations in two French rivers: application of a dynamic population model. *Regulated Rivers Research & Management* 17: 557–569. DOI: [10.1002/rrr.655](https://doi.org/10.1002/rrr.655).
- INRA. 2010. Ecophyto R&D. Which options to reduce pesticide use? Paris, France: INRA.
- Macary F, Ombredane D, Uny D. 2010. A multicriteria spatial analysis of erosion risk into small watersheds in the low Normandy bocage (France) by ELECTRE III method coupled with a GIS. *International Journal of Multicriteria Decision Making* 1: 25–48. DOI: [10.1504/IJMCDM.2010.033685](https://doi.org/10.1504/IJMCDM.2010.033685).

- Macary F, Leccia O, Almeida-Dias J, Morin S, Sanchez-Pérez JM. 2013a. Agro-environmental risk evaluation by a spatialised multi-criteria modelling combined with the PIXAL method. *International Journal of Geomatics & Spatial Analysis* 23: 39–70. DOI: [10.3166/ig.23.39-70](https://doi.org/10.3166/ig.23.39-70).
- Macary F, Almeida-Dias J, Uny D, Probst A. 2013b. Assessment of the effects of best environmental practices on reducing pesticide pollution in surface water, using multi-criteria modelling combined with a GIS. *International Journal of Multi-Criteria Decision 3(2-3)*: 178–211. DOI: [10.1504/IJMCDM.2013.053725](https://doi.org/10.1504/IJMCDM.2013.053725).
- Macary F, Almeida-Dias J, Rui-Figueira J, Roy, B. 2014. A multiple criteria decision analysis model based on ELECTRE Tri-C for erosion risk assessment in agricultural areas. *Environmental Modelling & Assessment* 19: 221–242. DOI: [10.1007/s10666-013-9387-x](https://doi.org/10.1007/s10666-013-9387-x).
- MAAF. 2012. Agricultures, produisons autrement: projet agro-écologique pour la France. Paris, France: Ministère en charge de l'agriculture.
- MAAPRAT-MEDD. 2011. Guide pratique pour la conception de systèmes de culture plus économies en produits phytosanitaires. Application aux systèmes de polyculture. Paris, France: Ministères en charge de l'agriculture et de l'écologie.
- MAP. 2008. Plan Ecophyto 2018 de réduction des usages de pesticides 2008–2018. Paris, France: Ministère de l'Agriculture et de la Pêche.
- MEDDTL. 2010. Le Grenelle de l'environnement. Loi Grenelle 2. Mode d'emploi. Ce que dit la loi. Paris, France: Ministère français de l'Énergie, du Développement durable, des Transports et du Logement.
- Mghirbi O, Ellefi K, Le Grusse P, *et al.* 2016. Assessing plant protection practices using pressure indicator and toxicity risk indicators: analysis of the relationship between these indicators for improved risk management, application in viticulture. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 8058–8074. DOI: [10.1007/s11356-014-3736-4](https://doi.org/10.1007/s11356-014-3736-4).
- Pelt JM. 2001. La terre en héritage. Paris, France: Fayard.
- Pelzer E, Fortino G, Bockstaller C, *et al.* 2012. Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi. *Ecological Indicators* 18: 171–182. DOI: [10.1016/j.ecolind.2011.11.019](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.11.019).
- Pujol JL, Dron D. 1998. Agriculture, monde rural et environnement. Qualité oblige. Paris, France: La Documentation française.
- Roy B. 1968. Classement et choix en présence de points de vue multiples (la méthode ELECTRE). *Revue française d'informatique et de recherche opérationnelle (RIRO)* 2(8): 57–75. http://www.numdam.org/article/RO_1968__2_1_57_0.pdf.
- Roy B. 1985. Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Paris, France: Economica.
- Sadok W, Angevin F, Bergez JE, *et al.* 2009. MASC, a qualitative multi-attribute decision model for *ex ante* assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development* 29(1): 447–461. DOI: [10.1051/agro/2009006](https://doi.org/10.1051/agro/2009006).
- Van der Werf HMG. 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 60: 81–96. DOI: [10.1016/S0167-8809\(96\)01096-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01096-1).

Citation de l'article : Aouadi N, Macary F, Alonso Ugaglia A. 2020. Évaluation multicritère des performances socio-économiques et environnementales de systèmes viticoles et de scénarios de transition agroécologique. *Cah. Agric.* 29: 19.