

Production de pommes: évaluation de la durabilité de stratégies phytosanitaires

Andreas Naef¹, Patrik Mouron² et Heinrich Höhn¹

¹Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 8820 Wädenswil

²Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

Renseignements: Andreas Naef, e-mail: andreas.naef@acw.admin.ch, tél. +41 44 783 62 57



Le recours à des variétés de pommes résistantes à la tavelure et à une stratégie judicieuse de protection des plantes permet de réduire l'application de produits phytosanitaires et leurs effets sur l'environnement. (Photo: ACW)

Introduction

Avec sa nouvelle directive 2009/128/CE, l'UE veut assurer une utilisation raisonnée des produits phytosanitaires et diminuer la dépendance de ces produits (CE 2009). Des programmes nationaux sont censés encourager la protection phytosanitaire intégrée ainsi que les méthodes et techniques alternatives. Les stratégies phytosanitaires devront respecter l'environnement tout en étant efficaces et rentables. Il n'existait pas jusqu'à présent de

méthode transparente d'évaluation des aspects économiques et écologiques de la durabilité. Les méthodes établies ne traitent que d'aspects partiels tels les effets sur la santé humaine ou sur l'environnement. Dans le cadre du projet ENDURE de l'Union européenne et en collaboration avec d'autres instituts européens (Bigler et al. 2011), les stations de recherche ACW et ART ont mis au point une méthode permettant de comparer la durabilité de diverses stratégies phytosanitaires. Cette méthode est appelée «SustainOS» («Sustain» pour dura-

bilité et «OS» pour Orchard Systems). La méthode SustainOS comprend une description du système, une analyse quantitative des aspects partiels de la durabilité et une agrégation en vue d'établir la durabilité globale. Dans le cadre d'une étude de cas, SustainOS a été utilisé pour comparer quatre stratégies phytosanitaires dans cinq régions d'Europe productrices de pommes. Le but principal de cette étude de cas était d'élaborer des stratégies phytosanitaires novatrices à écotoxicité réduite. L'étude a aussi pris en compte d'autres critères de durabilité et l'application des directives nationales de la protection phytosanitaire intégrée. Nous présentons ici les résultats de cette étude pour la production de pommes en Suisse à l'exemple de la région du lac de Constance.

Méthode SustainOS

La nouvelle méthode comprend plusieurs étapes et les travaux correspondants sont effectués par un groupe d'experts. La fig. 1 présente schématiquement le déroulement des opérations. L'évaluation est basée sur une description des divers systèmes de production (fig. 1a). Ces descriptions comprennent les données qui seront utilisées pour le calcul des critères de durabilité à l'aide de méthodes quantitatives telles qu'écobilan, calcul du risque environnemental et comptabilité analytique (fig. 1b). Les critères de durabilité sont ensuite évalués selon un système de référence spécifique à la région considérée (fig. 1c). Pour ce faire, nous avons utilisé une échelle

Résumé Les stratégies phytosanitaires du futur devront être efficaces et économiques tout en ménageant l'environnement. La méthode SustainOS permet d'évaluer la durabilité des stratégies phytosanitaires dans la production de pommes. Elle comprend une description du système de culture considéré, le calcul des critères partiels de durabilité ainsi que leur agrégation pour obtenir une valeur de la durabilité globale. Dans une étude de cas, la méthode a été utilisée pour l'analyse comparative de quatre stratégies phytosanitaires dans la région du Lac de Constance. Ces stratégies allaient d'un système dépendant fortement de l'application de produits phytosanitaires à un système novateur, dans lequel les produits phytosanitaires sont en grande partie remplacés par des mesures alternatives de protection des plantes. Il ressort de l'étude que les mesures phytosanitaires alternatives disponibles permettent de réduire l'écotoxicité et d'autres effets de la protection phytosanitaire sur l'environnement. Ce progrès écologique s'accomplit toutefois au prix de désavantages économiques. Le résultat économique pourrait être à l'avenir amélioré par des stratégies phytosanitaires novatrices ainsi qu'avec de nouvelles variétés résistantes censées assurer des rendements plus élevés et plus stables.

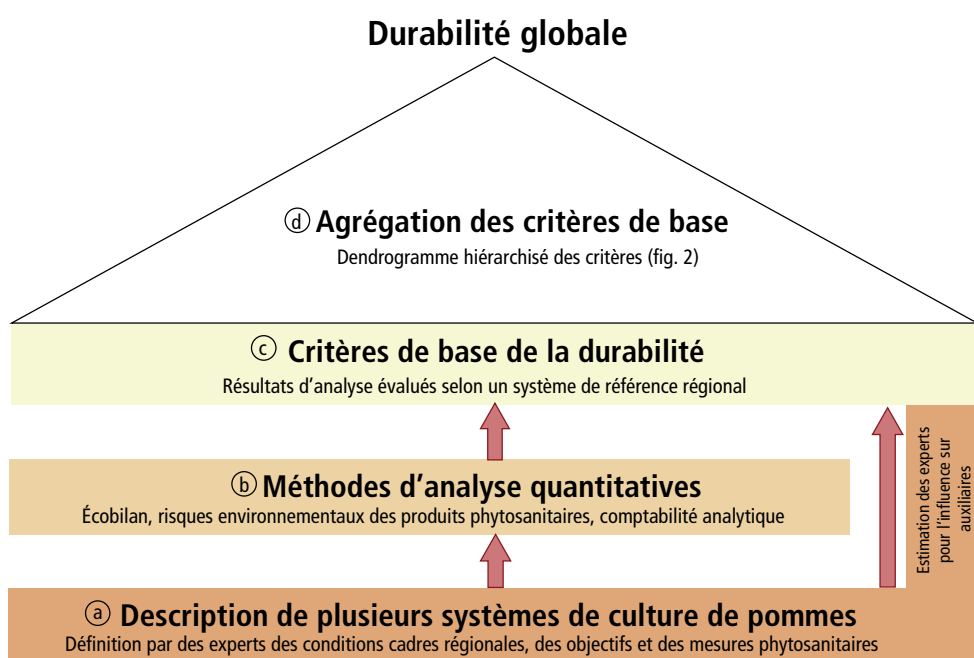


Figure 1 | Les étapes de la méthode SustainOS récemment développée pour évaluer et optimiser la durabilité de divers systèmes de culture.

Tableau 1 | Stratégies phytosanitaires de quatre systèmes de culture de pommes

Système de culture	Baseline GAP 2009 «Chimique»	Advanced 1 GAP 2009 Mesures alternatives	Advanced 2 Mesures alternatives & réduction des résidus	Innovative Axes de recherche actuels
Description des mesures phytosanitaires	<ul style="list-style-type: none"> • Variétés sensibles à la tavelure • Mesures phytosanitaires recommandées par ACW en 2009 • Gestion des résistances • Sans mesures phytosanitaires alternatives • Mesures d'hygiène 	<ul style="list-style-type: none"> • Variétés résistantes à la tavelure • Produits phytosanitaires à faible écotoxicité • Filets anti-grêle • Antagonistes du feu bactérien • Technique de confusion • Favorisation des auxiliaires • Engazonnement des rangées d'arbres dès l'été • Mesures d'hygiène 	<ul style="list-style-type: none"> • Variétés résistantes à la tavelure • Fongicides biologiques après floraison • Traitement à l'eau chaude après la récolte • Isolement total par filets • Antagonistes du feu bactérien • Technique de confusion • Favorisation des auxiliaires • Lutte mécanique contre les adventices • Mesures d'hygiène 	<ul style="list-style-type: none"> • Variétés à résistances multigéniques • Isolement total par filets • Protection contre la pluie • Nématodes entomopathogènes • Captures en masses • Push & pull • Attract & kill • Lutte mécanique contre les adventices • Pesticides sans effets secondaires • Mesures d'hygiène
Nombre d'applications de substances diverses et nombre de passages (entre parenthèses)				
Lutte contre les ravageurs	7 (2)	4 (1)	3 (1)	5 (4)
Lutte contre les maladies	25 (13)	16 (9)	21 (10)	3 (3)
Lutte contre les adventices	7 (3)	4 (2)	0	0

d'évaluation allant de 1 (nettement inférieur) à 5 (nettement meilleur). Les critères évalués de la sorte ont ensuite été reportés à la base d'un dendrogramme hiérarchique des critères (fig. 2). À partir des moyennes pondérées de deux axes, l'un écologique et l'autre économique, nous avons obtenu des critères agrégés qui nous ont permis finalement de calculer une valeur de durabilité globale (fig. 1d). Une description détaillée de la méthode de travail est disponible sur Internet; elle comprend également les données bibliographiques correspondantes et peut être téléchargée sous: <http://www.agroscope.admin.ch/obstbau/00878/index.html?lang=fr>, rubrique «Infos complémentaires».

Résultats de l'étude de cas «Production de pommes en Suisse»

Système «Baseline»

Comme il s'agissait de mettre en évidence le potentiel d'amélioration de chaque région, toutes les évaluations

ont été faites par rapport à un système de référence pour la région en question. Du fait des importantes disparités entre les diverses exploitations, il s'est révélé difficile de définir un système de culture représentatif. Par ailleurs, il n'est pas judicieux de recourir à un système basé sur les moyennes des applications saisonnières de produits phytosanitaires, car les risques pour l'homme et l'environnement ne peuvent être évalués que sur la base des quantités réelles de substance active. Par conséquent, pour la partie de la région du Lac de Constance située en Suisse, des experts en culture fruitière ont défini comme système de référence une stratégie phytosanitaire concrète satisfaisant aux prescriptions de la protection phytosanitaire intégrée (SAIO 2009) et aux recommandations phytosanitaires d'Agroscope ACW (Linder et al. 2009) de 2009 (tabl. 1). Pour une variété commerciale sensible à la tavelure, on a tablé sur une cible de rendement de 35 t/ha et une part de 75 % de fruits de classe 1, ce qui correspond aux valeurs généralement observées en protection phytosanitaire intégrée dans des vergers conduits dans les conditions d'hygiène usuelles dans la

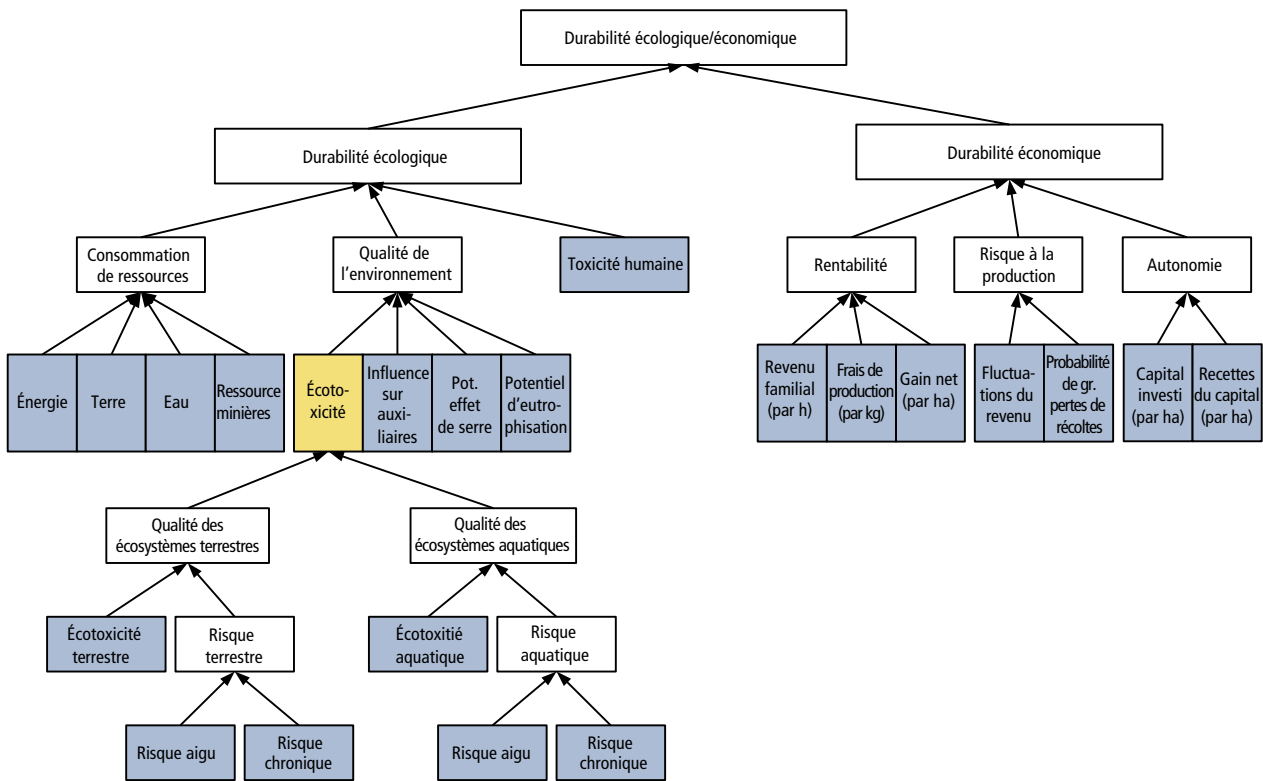


Figure 2 | Dendrogramme hiérarchisé des critères: la durabilité globale se compose de plusieurs critères partiels de la durabilité écologique et économique. Comme l'optimisation de l'écotoxicité (jaune) constituait l'objectif primaire de la présente étude, ce critère partiel a été subdivisé en autres sous-critères. Bleu: critères de base reposant sur des méthodes d'analyse quantitatives.

pratique. En vue d'une utilisation appropriée des produits phytosanitaires, il a été recouru aux services d'alerte et fait usage des seuils de tolérance existants. La maladie prédominante de la région étant la tavelure, on a tablé sur 12 traitements fongicides par saison pour l'éviter. Dans la mesure du possible, ces traitements ont été combinés avec les traitements fongicides contre d'autres maladies telles l'oïdium et les maladies d'entreposage, ainsi que des traitements insecticides contre le carpocapse des pommes et les pucerons. On s'est basé en outre sur six pulvérisations distinctes d'herbicides, d'insecticides et de bactéricides (feu bactérien). Dans le cadre de cette stratégie, il y a donc eu 18 passages par saison, avec application de 39 substances différentes. Le choix des substances s'est fait en veillant à assurer une bonne efficacité, à ménager les auxiliaires et à gérer les résistances de manière durable. Les groupes de fongicides à haut risque de développement de résistances (anilinopyrimidines, strobilurines et inhibiteurs de la synthèse des stérols) n'ont été utilisés que deux fois par saison et ont été combinés avec du captane, faible induc-

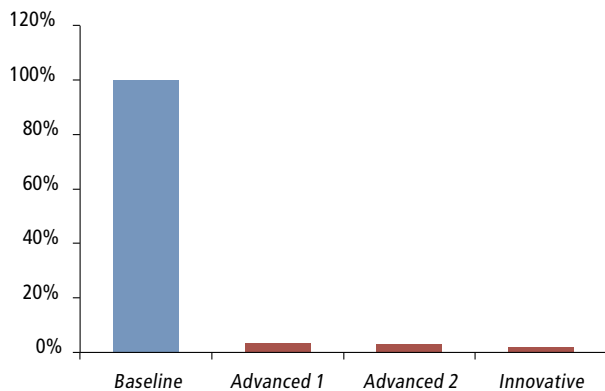
teur de résistances. Les divers insecticides et acaricides n'ont été utilisés qu'une fois par an et on a changé de groupe de substances actives d'année en année, avec une rotation sur quatre ans. Pour l'évaluation de la dérive, on a tablé sur la présence de filets anti-grêle sur 40 % et de haies sur 10 % des surfaces.

Système «Advanced 1»

Outre le système de référence, les experts en culture fruitière ont décrit pour la région du lac de Constance un système de protection phytosanitaire moderne, à écotoxicité optimisée. Le système nommé *Advanced 1* a utilisé plusieurs mesures phytosanitaires alternatives disponibles (tabl. 1). L'utilisation de variétés résistantes à la tavelure a permis de réduire le nombre de traitements fongicides de 12 à 7. Les traitements restants étaient indispensables pour maintenir la résistance à la tavelure et le contrôle sur d'autres pathogènes. Deux traitements contre le feu bactérien ont été conduits à l'aide de bactéries antagonistes, de manière à remplacer la streptomycine du système *Baseline*. Le recours à la lutte par

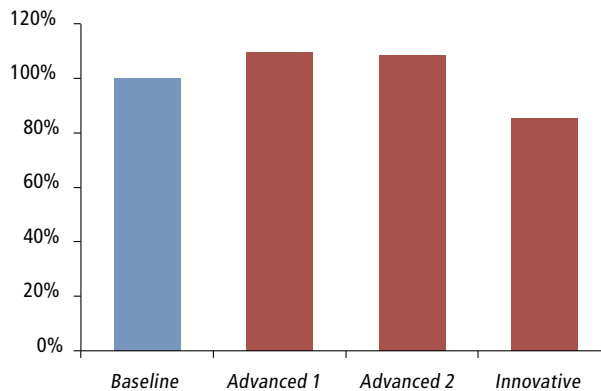
Évaluation écologique

(a) Exemple écotoxicité aquatique



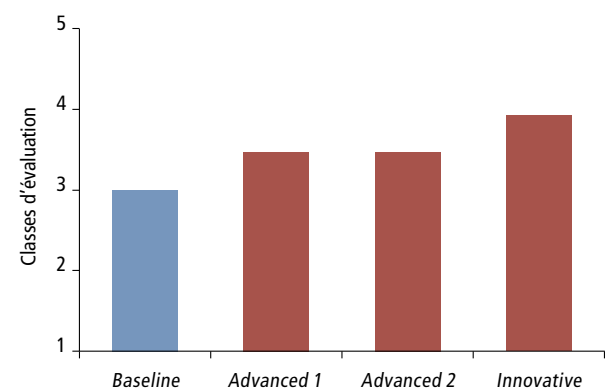
Évaluation économique

(b) Exemple frais de production par kg



Critères agrégés

(c) Durabilité écologique



(d) Durabilité économique

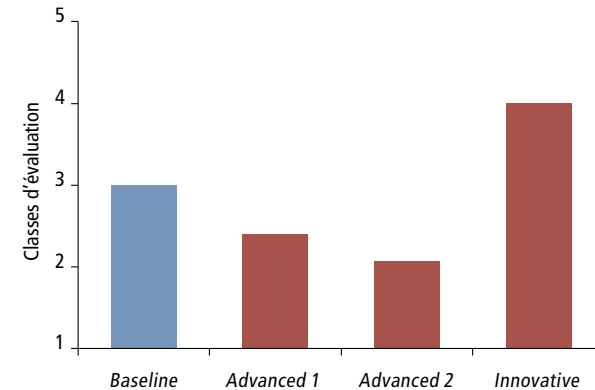


Figure 3 | Comparaison des systèmes de culture des pommes décrits dans le tableau 1 relativement aux critères d'écotoxicité aquatique et de frais de production ; critères agrégés de la durabilité écologique et de la durabilité économique. Sur l'échelle des graphiques (c) et (d), les chiffres 1 à 5 représentent les classes d'évaluation suivantes : 1 = très inférieur à *Baseline*, 2 = inférieur à *Baseline*, 3 = semblable à *Baseline*, 4 = supérieur à *Baseline*, 5 = nettement supérieur à *Baseline*.

confusion et la favorisation des auxiliaires ont permis d'éviter des traitements aux insecticides novaluron et chlorpyrifos-éthyle ainsi qu'à l'acaricide tébufenpyrade, trois produits à profil écotoxique relativement mauvais. Par ailleurs, l'engazonnement des rangées d'arbres fruitiers dès le mois de juin a permis d'économiser trois applications d'herbicides (un traitement au glyphosate au lieu de deux, pas de recours au linuron et au diuron). Au total, cette stratégie a permis de réduire les applications de matières actives de 39 (*Baseline*) à 24. Ces substances ont été appliquées en 12 passages par saison. La dérive des produits phytosanitaires a par ailleurs été encore réduite par l'installation de filets anti-grêle sur

80 % des surfaces et par l'utilisation sur 50 % des surfaces de diffuseurs réduisant la dérive. Pour atteindre les valeurs de risque de production du système *Baseline*, les producteurs doivent investir plus de temps, car ils doivent effectuer des contrôles visuels supplémentaires dans les vergers et suivre des cours de perfectionnement dans le domaine de la protection phytosanitaire.

Les calculs se basant sur des écobilans et l'évaluation des risques environnementaux ont montré que les mesures phytosanitaires alternatives choisies (tabl. 1) permettent d'abaisser considérablement l'écotoxicité ainsi que les risques pour les systèmes aquatiques et terrestres (fig. 3a). En outre, par rapport au système usuel



Figure 4 | La lutte par confusion sexuelle contre le carpocapse, au moyen de diffuseurs de phéromones, a fait ses preuves dans la pratique et remplace 2 à 3 traitements d'insecticides.

Baseline, elles ont aussi permis d'abaisser la toxicité pour l'être humain, en raison de la diminution des traitements fongicides et herbicides ainsi que des mesures de réduction de la dérive des produits de traitement. L'optimisation du système de culture au niveau de l'écotoxicité et de la toxicité pour l'être humain n'a toutefois entraîné que de légères améliorations de la durabilité globale (fig. 3c), car les mesures phytosanitaires retenues n'apportent pas d'amélioration au niveau d'autres critères écologiques tels que consommation d'énergie, de terres et d'eau ou encore de potentiel d'effet de serre. Le rendement économique du système *Advanced 1* est inférieur à celui du système *Baseline* et l'autonomie financière moindre; en effet, pour un volume de production égal et une même proportion de fruits de classe 1, il faut un investissement plus important (davantage de filets anti-grêle) et plus d'heures de travail (monitoring). Le recours à des mesures phytosanitaires alternatives péjore par conséquent le résultat au niveau de la durabilité économique.

Système «Advanced 2»

Ce système est également basé sur des variétés résistantes à la tavelure, mais il comprend davantage de mesures phytosanitaires alternatives qu'*Advanced 1* (tabl. 1). Les traitements aux herbicides ont ainsi été

entièrement abandonnés au profit d'un désherbage mécanique. Les auxiliaires tels que les parasitoïdes et les acariens prédateurs ont été encore mieux protégés et favorisés, voire répandus activement, ce qui a permis de réduire encore davantage le besoin de traitements insecticides ou acaricides. L'isolement total par des filets a réduit l'arrivée de ravageurs volants et l'exclusion d'abeilles contaminées a aidé à lutter contre le feu bactérien. Par rapport au système *Advanced 1*, il n'a pas été possible de réduire encore le nombre d'applications de substances phytosanitaires par saison, la baisse du nombre de traitements insecticides ayant été compensée par un recours accru aux fongicides. Ceci pour la simple raison que les fongicides de synthèse n'ont été utilisés que jusqu'à la fin de la floraison. Pendant le reste de la saison, la lutte contre l'oïdium, les taches de pluie et les maladies d'entreposage a été menée à l'aide de bicarbonates et de soufre. Ces fongicides biologiques ont une durée d'action assez brève et résistent mal à la pluie, si bien qu'il faut raccourcir les intervalles entre deux traitements. La maladie de conservation due à *Gloeosporium* a été en outre combattue par un traitement à l'eau chaude des fruits récoltés. Cette stratégie devrait permettre de répondre aux souhaits des consommateurs d'éviter sur les fruits toute trace de résidus de produits phytosanitaires. La

dérive de produits phytosanitaires a été réduite davantage encore par le recours à des buses et à des outils réduisant la dérive. La renonciation aux fongicides de synthèse après la floraison a augmenté la probabilité de maladies secondaires, ce qui a entraîné une variabilité supérieure de la récolte et un plus grand risque de pertes.

Ce système de culture, qui vise en premier lieu à réduire la présence de résidus de pesticides, s'il a l'avantage de mieux protéger les auxiliaires que le système *Advanced 1*, n'a apporté d'améliorations ni en matière d'écotoxicité, ni de toxicité humaine, ni au niveau de la consommation de ressources. Le bon résultat concernant la réduction de la dérive a permis un léger gain au niveau des risques environnementaux. Mais au total, le recours à des mesures phytosanitaires alternatives supplémentaires et à des fongicides biologiques une fois la floraison terminée n'a pas amélioré la durabilité écologique (fig. 3c). De plus, les investissements plus importants (isolement total par des filets, infrastructures pour le traitement des fruits à l'eau chaude, etc.) ainsi qu'une rentabilité réduite (du fait des heures de travail supplémentaires pour la lutte mécanique contre les adventices, ainsi que de l'irrégularité accrue des volumes récoltés et de la qualité) ont péjoré les résultats au niveau de la durabilité économique (fig. 3d).

Système «Innovative»

Le système *Innovative* était basé sur l'hypothèse que dans les dix ans qui viennent, de nouvelles mesures phytosanitaires alternatives seraient disponibles, qui rendraient possible des volumes de récolte élevés et stables en ne nécessitant qu'un minimum de produits phytosanitaires. Les variétés cultivées étaient résistantes ou tolérantes aux pathogènes principaux tavelure, oïdium, feu bactérien et pucerons. L'hypothèse d'une renonciation à la protection des résistances génétiques avec pesticides ne fait sens que si ces résistances reposent sur plusieurs gènes. Les programmes de sélection actuels ne comprennent encore une résistance multigénique que pour la tavelure. Il s'écoulera probablement plutôt 30 ans que 10 jusqu'à ce que soient commercialisées des variétés à résistance multigénique contre plusieurs pathogènes. En complément aux résistances génétiques, nous avons admis l'application d'autres mesures phytosanitaires telle que les systèmes «attract and kill» ou des nématodes entomopathogènes. Pour les traitements restants, on a admis l'existence de nouveaux produits phytosanitaires, sans effets secondaires sur les organismes non visés. Nous avons par ailleurs utilisé des filets anti-grêle et des mesures de réduction de la dérive sur toutes les surfaces étudiées.

Toutes ces hypothèses concernant ce système futuriste posées, il a été possible d'améliorer la durabilité tant écologique qu'économique (fig. 3), parce que seul un petit nombre de mesures phytosanitaires directes sont nécessaires et que l'on peut en attendre des récoltes plus abondantes et stables relativement à la quantité et à la proportion de fruits de classe 1.

Discussion

L'étude de cas en matière de production de pommes a montré qu'il existe un fort potentiel d'amélioration au niveau de l'écotoxicité de la protection phytosanitaire. L'écotoxicité n'est toutefois qu'un des aspects de la durabilité de la production de pommes. Comparativement au système *Baseline*, les systèmes *Advanced 1* et *2* paient les progrès sur le plan de l'écotoxicité et de la toxicité humaine par des désavantages concernant la durabilité économique. Comme on a tablé sur les mêmes prix pour tous les fruits, quel que soit le système appliqué, il serait possible d'améliorer la durabilité globale d'*Advanced 1* et *2* si les avantages écologiques pouvaient être monnayés sous forme d'un meilleur prix des fruits. Les résultats montrent aussi que si l'on renonce aux produits phytosanitaires de synthèse, le risque de fluctuation des revenus tend à augmenter en raison des fluctuations quantitatives des récoltes. La baisse du risque de fluctuation des récoltes au niveau atteignable avec les produits phytosanitaires actuels présuppose des mesures alternatives à long terme comme il a été admis en relation avec le système dit *Innovative*. Les résultats montrent aussi l'importance des diverses substances à fort potentiel de dangerosité pour l'environnement ainsi que l'effet des mesures réduisant la dérive des produits de traitement utilisés dans les vergers. Il serait possible de réduire considérablement l'impact des produits phytosanitaires sur les écosystèmes par l'utilisation de produits de substitution au lieu de produits dangereux pour l'environnement et par la mise en place de mesures réduisant la dérive des produits. ■

Remerciements

Nous tenons à remercier ici nos collègues de ENDURE Orchard System Casestudy: E. Bravin, A. Patocchi, Jörg Samietz (Agroscope ACW), U. Aubert, F. Bigler, G. Gaillard, F. Hayer, J. Hernandez, G. Mack (Agroscope ART), B. Heijne (Applied Plant Research, Wageningen NL), J. Strassemeyer (Julius Kühn-Institut, Kleinmachnow D), A. Alaphilippe, C. Lavigne, B. Sauphanor (INRA, Saint-Marcel-lès-Valence F), J. Avilla, J. Solé (IRTA, Universidad de Lleida, Lleida ES), M. Bohanec (Jožef Stefan Institute, Ljubljana SL).

Riassunto**Valutazione della sostenibilità delle strategie di protezione fitosanitaria nella produzione di mele**

Le future strategie fitosanitarie devono essere efficaci, economiche ed ecologiche. La metodologia SustainOS permette di esaminare la sostenibilità delle strategie fitosanitarie nella coltivazione di mele. Tale metodologia comprende una descrizione del sistema di coltura considerato, il calcolo dei criteri parziali di sostenibilità come pure la loro aggregazione per ottenere un valore di sostenibilità globale. La sua applicazione è stata eseguita su quattro diverse strategie fitosanitarie utilizzate nella regione svizzera del lago di Costanza. Le strategie spaziavano dal sistema fortemente dipendente di prodotti fitosanitari ad uno innovativo, in cui i pesticidi erano stati, in gran parte, sostituiti da misure fitosanitarie alternative. Si è così potuto constatare come l'ecotossicità ed altri effetti ambientali causati da prodotti fitosanitari siano migliorati attraverso le misure fitosanitarie alternative disponibili. Questo progresso ambientale è tuttavia associato a degli svantaggi economici. In futuro i risultati economici potrebbero essere migliorati attraverso strategie fitosanitarie innovative e da nuove varietà resistenti che dovrebbero assicurare rese più elevate e stabili.

Summary**Sustainability rating of crop protection strategies in apple production**

Future plant protection strategies should be efficacious, economic and environmentally acceptable. The SustainOS methodology has been developed to assess the sustainability of crop protection strategies in apple orchards. The methodology consists of a system description structure, an assessment step for subcriteria of sustainability and an aggregation of these subcriteria to an overall sustainability. The method has been applied in a case study on four plant protection strategies in apple orchard systems in the Swiss Lake of Constance region. The strategies reached from a system strongly depending on pesticides to an innovative system in which pesticides were replaced to a large extent by alternative plant protection measures. It could be shown that ecotoxicity and other environmental impacts of plant protection measures could be improved by implementation of alternative plant protection measures available today. However, economic disadvantages were the drawback of the ecological progress. An improved economic situation could be achieved with future innovative crop protection strategies and new resistant varieties assuming higher and more stable yield.

Key words: sustainable agriculture, horticulture, integrated pest management (IPM), life cycle assessment, apple orchards.

Bibliographie

- Bigler F., Aubert U., Dubuis P.-H., Hayer F., Hernandez-Rivera J., Mack G., Meissle M., Mouron P., Naef A. & Strassemeyer J., 2011. ENDURE – un réseau pour la protection durable des cultures en Europe. *Recherche Agronomique Suisse* 2 (2), 72–79.
- Linder C., Viret O., Kehrli P., Delabays N., Höhn H., Naef A., Holliger E., Widmer A. & Neuweiler R., 2008. Guide phytosanitaire pour l'arboriculture fruitière 2008/2009. *Revue suisse de Viticulture Arboriculture Horticulture* 40 (1), 13–57.
- SAIO, 2009. Richtlinien für den ÖLN und die integrierte Obst-Produktion in der Schweiz. Schweiz. Arbeitsgruppe für Integrierte Obstproduktion, Zug. 18 p.
- UE, 2009. Directive 2009/128/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 octobre 2009 instaurant un cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable. *Journal officiel de l'Union européenne* L309, 71 – 86.