HAL
open science

Innovations agro-écologiques et organisationnelles pour une gestion durable de la qualité de l'eau dans des régions de monoculture à forts niveaux d'intrants phytosanitaires. Rapport final du Projet n°ANR-05-PADD-010

Christian Gary, Patrick Andrieux, Bernard Bonicelli, M. Bonin, C. Campagnone, P. Cattan, H. Ozier-Lafontaine, P. Rio, J.M. Touzard, S. Guillaume, et al.

To cite this version:

Christian Gary, Patrick Andrieux, Bernard Bonicelli, M. Bonin, C. Campagnone, et al.. Innovations agro-écologiques et organisationnelles pour une gestion durable de la qualité de l'eau dans des régions de monoculture à forts niveaux d'intrants phytosanitaires. Rapport final du Projet n°ANR-05-PADD-010. [Rapport de recherche] irstea. 2009, pp.38. hal-02592176

HAL Id: hal-02592176

https://hal.inrae.fr/hal-02592176

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Agence Nationale de la Recherche ANR	**Fiche rapport de fin de projet**	Date : 02/06/2009 Réf.: ANR-05-PADD-010 Nombre de pages : 38

Rapport final du projet n°ANR-05-PADD-010
Acronyme : GeDuQuE
Titre: Innovations agro-écologiques et organisationnelles pour une Gestion Durable de la Qualité de l'Eau dans des régions de monoculture à forts niveaux d'intrants phytosanitaires

A. Identification

Programme – année	ADD 2005
Projet (acronyme)	GeDuQuE
Titre complet du projet	Innovations agro-écologiques et organisationnelles pour une Gestion Durable de la Qualité de l'Eau dans des régions de monoculture à forts niveaux d'intrants phytosanitaires
Coordinateur du projet (société/organisme)	Christian Gary, Inra
Période du projet (date début – date fin)	3 octobre 2005 – 2 avril 2009
Rapport confidentiel (OUI/NON)	Non
Date de fin de confidentialité	

Rédaction du rapport

Nom du rédacteur	Christian Gary
Téléphone	04 99 61 30 50
Adresse électronique	gary@supagro.inra.fr
Date de rédaction	2 juin 2009

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

B. Etat des tâches allouées à chaque bénéficiaire ou participant au projet

WP	Nom des participants et organisme /société d'appartenance[1]	Tâche n°1	Tâche n°2	Tâche n°3
Coordinateur	C. Gary			
WP 1	P. Andrieux, Y.M. Cabidoche, *C. Dages*, J.C. Fabre, C. Gary, X. Louchart, R. Moussa, H. Ozier-Lafontaine, R. Tournebize, M. Voltz, (Inra) P. Cattan, M. Dorel, E. Malezieux, J.M. Risède, P. Tixier (Cirad) F. Colin, C. Sinfort, B. Tisseyre, J. Wery (Montpellier SupAgro) B. Bonicelli, S. Guillaume, B. Ruelle, E. Cotteux (Cemagref) X. Delpuech (IFV)	■	■	■
WP2	J.M. Barbier, J.M. Blazy, J.L. Diman (Inra) A. Biarnès (IRD) N. Constant (AIVB-LR)	■	■	■
WP3	M. Bonin, *M. Houdart*, L. Temple (Cirad) P. Rio, J.M. Touzard (Inra) C. Compagnone, F. Valdivieso (Enesad)	■	■	X

■: fait ; ▒ : réalisation partielle ; □: non réalisé ; animateurs de WP ; *post-docs*

Ce tableau fait la synthèse de la réalisation des tâches et livrables du projet qui ont été définies lors du démarrage du projet (cf. annexe technique de l'acte attributif). A la suite de ce tableau, peuvent être indiquées les tâches ou volets de recherches complémentaires dues à une réorientation ou à une reformulation en cours de projet ou aux besoins d'étendre les travaux dans une direction choisie.

WP supplémentaires	Nom des participants, et Organisme /société d'appartenance[2]	Issu du WPn	Description	livrable
néant				

[1] Peuvent figurer à ce niveau, des acteurs « non bénéficiaires directs »qui ont participé au dispositif de recherche
[2] Peuvent figurer à ce niveau, des acteurs « non bénéficiaires directs »qui ont participé au dispositif de recherche

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

C. Rapport factuel

C.2 Le **tableau de personnels** fait le point sur les emplois mis en jeu et consécutifs au projet

	nombre de personnes employées en CDD sur le projet et financées par l'ANR	
	nombre	h-mois cumulés sur tous les bénéficiaires depuis le début du projet
Doctorants		
Post-docs	2	27
Ingénieur en CDD	8	30
Stagiaires	15	85
Autres		

	nombre de personnes employées en CDD ou détachées sur le projet et non financées par l'ANR	
	nombre	h-mois cumulés sur tous les bénéficiaires depuis le début du projet
Doctorants	4	93
Post-docs		
Ingénieur en CDD	1	2
Stagiaires	6	30
Autres		

	Devenir des personnes employées en CDD sur le projet[3]		
	emploi suite au projet		autre
Nom, prénom, qualification	chez les bénéficiaires	ailleurs	
Marie Houdart		CR Cemagref	
Cécile Dagès	CR Inra		
Michael Douchin			création entreprise
Delphine Meziere		thèse	
Héctor Valdés		CDD Univ. Talca (Chili)	
Carlos Suarez			recherche emploi
Amirouche Abdessemed			recherche emploi
Mehdi Benghabrit			recherche emploi
Eric Von Bonn			recherche emploi
Pauline Cabidoche			études
Rémi Etienne			études

[3] Hormis les stagiaires

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

C.4 La **liste des éléments de valorisation** inventorie les items suivants :

- brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet

néant

- logiciels et tout autre prototype

- *Participation au développement du modèle hydrologique MHYDAS au sein de la plate-forme OpenFLUID (http://www.umr-lisah.fr/openfluid/). Les travaux du projet GeDuQuE ont permis le développement et/ou l'amélioration des modules « pratiques culturales », « devenir et transferts de pesticides » et « bilan hydrique » de MHYDAS.*
- *Modèle de simulation des impacts des innovations dans les exploitations bananières 'BANAD' (Blazy et al. soumis)*

- actions de normalisation

néant

- les conséquences du projet (lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,…)

- *projet MEDAD SYBAN (en cours 2007-2010)*
- *projet CPER AgroEcoTrop (accepté 2008)*
- *projet SEOM Recherche participative (soumis 2009)*
- *projet Sepia (ANR Systerra, soumis 2009)*

- le développement d'un nouveau partenariat,

- *scientifique : UMR LERNA et SMART et équipes de socio-économie Crillash et Ceregmia de l'Université des Antilles et de la Guyane,*
- *professionnel : OP bananières de Guadeloupe (LPG) et de Martinique (Banalliance et Banamart)*

- la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté

néant

- autres

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

C.3 La **liste des publications (Cf. ci-après)** répertorie les productions résultant des travaux effectués dans le cadre du projet. On suivra les catégories du tableau C.1 en suivant les normes éditoriales habituelles de présentation des publications et brevets. On précisera les articles acceptés, et les articles soumis. En ce qui concerne les conférences, on spécifiera les conférences invitées.

1. Publications internationales

1.1 Articles acceptés dans des revues à comité de lecture

Blazy J.-M., Ozier-Lafontaine H., Doré T., Thomas A., Wery J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. Agricultural Systems, doi:10.1016/j.agsy.2009.02.004.

Blazy, J.-M., Dorel M., Salmon, F., Ozier-Lafontaine, H., Wery, J., Tixier, P., 2009. Model-based assessment of technological innovation in banana cropping systems contextualized by farm types in Guadeloupe. European Journal of Agronomy, doi:10.1016/j.eja.2009.02.001.

Cattan , P., Cabidoche, Y.-M., Lacas , J.-G., Voltz , M. 2006. Impact of tillage and mulching on runoff occurrence under banana (*Musa* spp.) in a tropical andosol. Soil and Tillage Research, 86, 38-51.

Cattan P., Bussière F., Nouvellon A. 2007. Evidence of large rainfall partitioning patterns by banana and impact on surface runoff generation. Hydrological processes, 21, 2196-2205.

Cattan P., Voltz M., Cabidoche Y.-M, Lacas J.-G., Sansoulet J., 2007. Spatial and temporal variations in percolation fluxes in a tropical Andosol influenced by banana cropping patterns. Journal of Hydrology, 335, 157-169.

Celette F., Findeling A., Gary C., 2009. Competition for nitrogen in an unfertilized intercropping system: The case of an association of grapevine and grass cover in a Mediterranean climate. European Journal of Agronomy, 30, 41-51.

Celette F., Gaudin R., Gary C., 2008. Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping, European Journal of Agronomy, 29, 153-162.

Charlier JB, Cattan P., Moussa R., and Voltz M., 2009. Transport of a Nematicide in Surface and Ground Waters in a Tropical Volcanic Catchment. Journal of Environmental Quality, 38, 1031-1041.

Charlier, J.B., Cattan, P., Moussa, R. and Voltz, M., 2008. Hydrological behaviour and modelling of a volcanic tropical cultivated catchment. Hydrological Processes, 22, 4355-4370.

Dages C., Voltz M., Lacas J.G., Huttel O., Negro S., Louchart X., 2008. An experimental study of water table recharge by seepage losses from a ditch with intermittent flow. Hydrological Processes, 22, 3555-3563.

Dages C.,Voltz M., Ackerer P., 2008. Parameterization and evaluation of a threedimensional modelling approach to water table recharge from seepage losses in a ditch. Journal of Hydrology 348, 350–362.

Dages, C., Voltz, M., Bsaibes A., Prévot L., Louchart X., Huttel O., Garnier F., Negro S. Estimating the role of a ditch network in groundwater recharge in a Mediterranean catchment using a water balance approach. En révision avec corrections mineures pour Journal of Hydrology.

de Barros I., Blazy J.M., Stachetti Rodrigues G., Tournebize R., Cinna J.P., 2009. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). Agriculture, Ecosystems and Environment 129, 437–449.

Dorel, M., Achard, R., Tixier, P., 2008. SIMBA-N: modeling nitrogen dynamics in banana populations in wet tropical climate. Application to fertilization management in the Caribbean. European Journal of Agronomy, 29, 38-45.

Houdart, M., Tixier, P., Lassoudière, A., Saudubray, F., 2008. Assessing pesticide pollution risk: from field to watershed. Agronomy for Sustainable Development, 29, 321-327.

Louchart, X. and Voltz, M. 2007. Aging effects on the availability of herbicides to runoff transfer. Environmental Science & Technology, 41, 1137-1141.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2008. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. Agronomy for Sustainable Development. DOI: 10.1051/agro:2007057: 20 p.

Ripoche A., Celette F., Cinna J.P., Gary C., 2009. Design of intercrop management plans to fulfil production and environmental objectives in vineyards. European Journal of Agronomy, doi:10.1016/j.eja.2009.05.005.

Saison, C., Cattan, P., Louchart, X., Voltz, M., 2008. Effect of spatial heterogeneities of water fluxes and application pattern on Cadusafos fate on Banana Cultivated Andosols. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56, 11947–11955.

Sansoulet J., Cabidoche Y. M., Cattan P., Ruy S., Simunek J., 2008. Spatially distributed water fluxes in an andisol under banana plants: experiments and three-dimensional modeling. Vadose Zone Journal, 7, 819-829.

Sansoulet J., Cabidoche Y.M., Cattan P., 2007. Adsorption and transport of nitrate and potassium in an Andosol under banana (Guadeloupe, French West Indies). European Journal of Soil Science, 58, 478-489.

Tixier P., Malezieux E., Dorel. M., Bockstaller C., Girardin P., 2007. Rpest - an indicator linked to a crop model to assess the dynamics of the risk of pesticide water pollution. Application to banana-based cropping systems. European Journal of Agronomy, 26, 71-81.

Tixier P., Risède J.-M., Dorel M., Malézieux E., 2006. Modelling population dynamics of banana plant-parasitic nematodes: A contribution to the design of sustainable cropping systems, Ecological Modelling, 198, 321-331.

Tixier, P., Chabrier, C., Malézieux, 2007. Pesticides residues in heterogeneous plant populations. A model based approach applied to nematicides in banana. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55, 2504-2508.

Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., 2007. A Model-Based Approach to maximise Gross Income by Selection of Banana Planting Date. Biosystems Engineering, 6, 471-476.

Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., Bockstaller, C., Girardin, P. 2007. Rpest a dynamic indicator to assess pesticide water pollution risk. Application to banana-based cropping systems in FWI. European Journal of Agronomy, 26, 71-81.

Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., Wery, J., 2008. SIMBA: a comprehensive model for evaluation and prototyping of banana-based cropping systems. Agricultural Systems, 97, 139-150.

Tixier, P., Salmon, S., Chabrier, C., Quénéhervé, P., 2008. Modelling pest dynamics of new crop cultivars: the FB920 banana with the *Helicotylenchus multicinctus-Radopholus* similis nematode complex in Martinique. Crop Protection, 27, 1427-1431.

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, 27, 1174-1186.

Valdés-Gómez H., Celette F., García de Cortazar-Atauri I., Jara F., Ortega-Farías S., Gary C., 2009. Modelling soil water content and grapevine growth and development with the STICS crop-soil model under two different water management strategies. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 43, sous presse.

1.2 Articles soumis à des revues à comité de lecture

Blazy, J.M., Tixier, P., Ozier-Lafontaine, H., Salmon, F., Thomas, A., Wery, J., BANAD: a dynamic bio-economic farm model for ex ante assessment of innovation adoption impacts. Application to banana's systems in Guadeloupe. (soumis à Agricultural Systems en janvier 2009)

Blazy J-M., Thomas A., Carpentier A., An ex ante adoption model of low inputs innovations applied to banana production in the French West Indies. European Review of Agricultural Economics, submitted.

Celette F., Ripoche A., Gary C., 2009. A simple model to represent water partitioning in a crop association: the example of an intercropped vineyard. Soumis à European Journal of Agronomy.

Colin F., Moussa R. , Louchart X., Using a numerical tracer experiment to assess the sensitivity of a distributed hydrological model to the spatial arrangement of parameters: Case of the impact of vineyard weed control practices on surface water transfer . Soumis à Journal of Hydrology.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Gaudin R., Celette F., Gary C., Wery J., 2009. Off season soil refilling and runoff-rainfall relationship in a mediterranean vineyard. Soumis à Plant and Soil.

Houdart M., Bonin M., Compagnone C. Social and spatial organization—assessing the agroecological innovation potential of a group. Case study in a banana-growing area of Guadeloupe.. Soumis à Int. J. Agricultural Resources, Governance and Ecology (IJARGE), 16p.

Tixier P., Houdart M., Bonin M., Malézieux E., Linking cropping system and multi-agent social network models to simulate land-use dynamics and environmental risks. (soumis à Environmental Modelling and Software en août 2008)

Vinatier, F., Tixier, P., Le Page, C., Duyck, P.F., Lescourret, F., COSMOS, a spatially explicit model to simulate effect of Hurricanes on epidemiology of *Cosmopolites sordidus* in banana fields. (soumis à Ecological Modelling en novembre 2008)

1.3 Articles en préparation pour des revues à comité de lecture

Andrieux P., Louchart X. et Voltz M. Land management effects on Runoff, Erosion and Glyphosate fate in soil and runoff water in vineyards in South-France. En préparation pour Journal of Environmental Quality.

Barbier J.M., Biarnès A., Arondel E., Paré N. Stratégies d'entretien du sol et de protection phytosanitaire dans la vallée de la Peyne. En préparation pour Agronomy for Sustainable Development.

Blazy J.M., Ozier-Lafontaine H., Salmon F., Thomas A., Wery, J. Accounting for farm diversity in the prototyping of sustainable cropping systems. Application to banana based systems in Guadeloupe. En préparation pour Agricultural systems.

Charlier JB, Moussa R, Cattan P, Voltz M. Accounting for local rainfall partitioning improve runoff modelling at the plot scale: a study case of rainfall redistribution by plant canopy.

Charlier JB, Lachassagne P, Ladouche B, Cattan P, Moussa R, Voltz M. Structure and hydrogeological functioning of a tropical humid andesitic basin: a multi-disciplinary experimental approach.

Colin F., Guillaume S., Tisseyre B., Defining agricultural management variables at catchment scale to reduce hydrological impacts? A Mediterranean vineyard study using numerical experiment. En préparation pour Agricultural Water Management

Houdart M., Bonin M., Bousquet F. et Rio P. A multi-agent model to assess the role of discussion networks in agricultural innovation dynamics. En préparation pour Ecology & Society, 11p.

Temple L., Bonin M., Dorel M., Houdart M., 2010. Quels déterminants institutionnels et organisationnels de la diminution de pesticides dans la bananeraie antillaise ? Colloque SFER février 2010 : "La réduction des pesticides agricoles, enjeux, modalités et conséquences", cette communication sera soumise à Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement.

1.4 Communications internationales

Ali M., Rio P., 2006. Collective liability in non-point source pollution, 4th research workshop "Permit trading in different applications", 4th research workshop "Permit trading in different applications", Universität Halle-Wittenberg, Germany, 29 November 2006 (http://wcms.uzi.uni-halle.de/download.php?down=1160&elem=1017528).

Ali M., Rio P., 2007. Negotiating the initial permits allocation as a revelation mechanism in nonpoint source pollution, Proceedings of the 15th EAERE Annual Conference, Thessaloniki, Greece, 27-30 June 2007 (http://www.eaere2007.gr/papers/1179924392_paper_ali_rio.pdf)

Ali M., Le Grusse P., Rio P., 2008. Tradable permits under threat to manage nonpoint source pollution. XXIIth congress of the European Association of Agricultural Economists, 26-29 August 2008, Ghent, Belgium.

Blazy J-M., Peregrine D., Diman J.L., Causeret F., 2008. Assessment of banana farmers' flexibility for adopting agro-ecological innovations in Guadeloupe: a typological approach. In: Dedieu, B., Zasser-Bedoya, S. (Eds.), CD-ROM Proceedings of the 8th european IFSA Symposium, Clermont-Ferrand (France), 6-9 July 2008, 457-468.

Blazy J.M., Carpentier A., Ozier-Lafontaine H., Thomas A., Tixier P., Wery J., 2007. Integrated ex ante assessment of agro-management innovations by combining crop, farm and adoption models. In:

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

M. Donatelli, J. Hatfield, A. Rizzoli (Eds.) Farming Systems Design 2007, International Symposium on Methodologies on Integrated Analysis on Farm Production Systems, Catania (Italy), 10-12 September 2007, book 1 Farm-regional scale design and improvement, p. 15-16.

Blazy J-M., Diman J-L., Causeret F., Peregrine D., 2008. Banana sector in the French West Indies in the 21st century : Typology of farmer's rooms for manoeuvre to adapt their cropping systems to crisis. Poster présenté à la 44th Annual meeting of the Caribean Food Crop Society, July 13-17, 2008, Miami.

Blazy J-M., de Barros I., Rodrigues G.S., Ozier-Lafontaine H., 2008. Environmental damages versus economic performance, sustainability of Guadeloupean banana cropping systems in question: an emergetic approach. Poster présenté au 44th Annual meeting of the Caribbean Food Crop Society, July 13-17, 2008, Miami.

Celette F., Gary C., 2006. Cover cropping as a way to manage water and nitrogen deficits in relation with grapevine (Vitis vinifera L.) vegetative growth and yield. In: M. Fotyma, B. Kaminska (eds) Proceedings of the IX ESA congress, 4-7 Septembre 2006, Varsovie, Bibiotheca Fragmenta Agronomica 11(2): 515-516.

Charlier JB, Moussa R, Cattan P, Voltz M. 2006. Hydrological behaviour of a small tropical catchment on volcanic deposits. European Geophysical Union, 2nd General Assembly, Vienne, Autriche, 3-7 Avril 2006 (Poster + résumé).

Charlier JB, Moussa R, Cattan P, Voltz, M. 2007. Hydrological modelling from the plot to the catchment scales in a tropical cultivated area. European Geophysical Union, 3rd General Assembly, Vienne, Autriche, 16-20 Avril 2007 (Oral + résumé).

Charlier JB, Cattan P, Voltz M, Moussa R. 2009.Transport of a nematicide in surface and ground waters in a tropical volcanic catchment. European Geophysical Union, 5th General Assembly, Vienne, Autriche, 20-24 Avril 2009 (Oral + résumé).

Colin F., Moussa R., 2009. Vineyard weeds control practices impact on surface water transfers: using numerical tracer experiment coupled to a distributed hydrological model to manage agricultural practices spatial arrangements. European Geosciences Union, Vienne, Autriche, 20-24 avril 2009.

Côte, F.X., Abadie-Fournier, C., Achard, R., Cattan, P., Chabrier, C., Dorel, M., de Lapeyre, L., Risède, J.M., Salmon, F., Tixier, P., 2007. How can pesticide use be reduced in banana culture? Approaches developed in the French West Indies: integrated production system development and cropping system design using modelling. In : ProMusa Symposium: Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods / ISHS, 2007/09/10-14, White River, South Africa.

Delmotte S., Ripoche A., Gary C., 2008. A multiple criteria tool for on farm ex ante evaluation of the sustainability of innovative cropping systems with low pesticide use in viticulture. In: P. Ricci (ed.) Proceedings of the ENDURE International Conference 2008, Diversifying crop protection, 12-15 October 2008, La Grande-Motte, France. (http://www.endure-network.eu/content/download/4511/37315/file/Full%20text%20O.52.pdf).

Delmotte, S., C. Gary, A. Ripoche, J.M. Barbier, J. Wery, 2009. Contextualization of on farm ex ante evaluation of the sustainability of innovative cropping systems in viticulture, using a multiple criteria assessment tool (DEXi). In: M. van Ittersum, J. Wolf, G. van Laar (eds) Proceedings of AgSAP Conference 2009 - Integrated Assessment of Agriculture and Sustainable Development, Setting the Agenda for Science and Policy, Egmond aan Zee (The Netherlands), 180-181 (http://www.conference-agsap.org/PDFs/1-Final-Proceedings-AgSAP2009.pdf)

Dorel, M., Tixier, P., Archard, R., 2006. Management of banana nitrogen fertilization: taking into account nitrogen from organic origin. XVII international meeting of the cooperation in the research on banana in the Caribean and tropical America. October, 15-20, 2006. Joinville, Santa Catarina, Brasil. Book of proceedings, 2, 634-637.

Fermaud M., Valdés-Gómez H., Calonnec A., Roudet J. and Gary, C., 2007. Interdependent effects of (micro) climate and vegetative growth on grey mould incidence in grapevine. 14th International Botrytis Symposium Cape Town, South Africa. 21-26 October, 2007.

Fermaud, M. Valdés-Gómez H., Calonnec A., Roudet J. and Gary C., 2007. A multivariate analysis of combined effects of (micro)climate, vegetative and reproductive growth on grey mould incidence in grapevine. Meeting of the IOBC/WPRS Working Group "Integrated Control in Viticulture", Marsala, Sicily, Italy, 25-27 October 2007.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Gary C., Barbier J.M., Rio P., Andrieux P., Blazy J.M., Louchart X., Bonin M., Diman J.L., Causeret F., Ozier-Lafontaine H., 2009. How to design technical and organizational innovations to promote sustainable development in catchments with intensive use of pesticides. In: M. van Ittersum, J. Wolf, G. van Laar (eds) Proceedings of AgSAP Conference 2009 - Integrated Assessment of Agriculture and Sustainable Development, Setting the Agenda for Science and Policy, Egmond aan Zee (The Netherlands), 294-295.

Gary C., Cinna J.P., Celette F., 2006. Multiple criteria design of cover crop management plans in vineyards. In: M. Fotyma, B. Kaminska (eds) Proceedings of the IX ESA congress, 4-7 Septembre 2006, Varsovie, Bibiotheca Fragmenta Agronomica 11(2): 529-530.

Gary C., Cinna J.P., Celette F., Ripoche A., 2007. How to design cover crop management plans in vineyards that satisfy both production and environment objectives. In: B. Sladonja (ed.) Comptes-rendus/Proceedings GESCO 2007, Porec (Croatie), 20-23 juin 2007, 358-363.

Houdart M., Bonin M., Compagnone C., 2007a. Organisation sociale et organisation spatiale : évaluer la capacité d'un groupe à l'innovation agro-écologique. Etude de cas en zone bananière, Guadeloupe. In: Joint congress ASRDLF 44th Congress / ERSA 47th Congress, Paris/Cergy-Pontoise, August 29th - September 2nd 2007, 10 p.

Houdart M., Bonin M., Bousquet F. et Rio P., 2007b. Un modèle multi-agents pour évaluer le rôle des réseaux dialogiques sur la dynamique de l'innovation en agriculture. In: F. Amblard (ed.) ESSA'07 the 4th Conference of the European Social Simulation Association, Toulouse, France, September 10th-14th, 2007, 563-579 (http://www.irit.fr/essa2007).

Moussa R, Voltz M, Lagacherie P, Louchart X, Andrieux P, Colin F, Dagés C, Fabre JC, Raclot D, Chahinian N, Charlier JB, Ghesquière J, Le Forner S, Tiemeyer B. 2008. MHYDAS: Spatially Distributed Hydrological Modelling of AgroSystems. 13th Word Water Congress – Congrès International des Sciences de l'Eau, Montpellier, 1-4 Septembre 2008, Montpellier (Texte principal 6 pages + oral).

Ozier-Lafontaine H., Damour G., Tournebize R. and Lusiana B. 2006. The generic tree-soil-crop interaction model WaNuLCAS for the evaluation, of multi-species agro-ecosystems in the tropics - A case study with banana intercropped with *Canavalia ensiformis*. 42ème Congrès de la CFCS, Porto-Rico 10-16 juillet (conférence + article).

Pare, N., Andrieux, P., Louchart, X., Biarnès, A. & Voltz, M. 2009. Empirical prediction of the temporal change of hydraulic conductivity in tilled Mediterranean vineyard. EGU, Vienne (Autriche), 20-24 avril 2009. (poster)

Rio P., 2008. Extracting knowledge through video-game. Laval Virtual-VRIC conference, 9-13 April 2008, 7 p.

Ripoche A., Cinna J.P., Celette F., Gary C., 2007. Design of cover crop management plans satisfying productive and environmental objectives. In: M. Donatelli, J. Hatfield, A. Rizzoli (Eds.) Farming Systems Design 2007, International Symposium on Methodologies on Integrated Analysis on Farm Production Systems, Catania (Italy), 10-12 September 2007, book 2 Field-farm scale design and improvement, p. 68-69.

Risède J.-M., Dorel M., Chabrier C., Quénéhervé P., Tixier P., Jenny C., 2005. Sustainable cropping systems for export banana in the French West Indies: A on-going reality that no longer remains elusive? [Texte intégral]. 1 p. 41ème Annual Meeting of the Caribbean Food Crop Society, 10-16 juillet 2005, Gosier / CFCS, Guadeloupe. - s.l. : s.n., 2005, 2005-07-10/2005-07-16.

Risède J-M, Bouamer S., Dorel M., Chabrier Ch., Razes M., Lakhia K., Cote F., 2008. An agroecological approach to alleviate the impact of plant-parasitic nematodes in banana cropping systems. "Diversifying Crop Protection", ENDURE International Conference, La Grande-Motte, France, 12-15 October.

Risède J-M, Chabrier Ch., Dorel M., Rhino B., Lakhia K., Jenny Ch., and Quénéhervé P., 2007. Recent and up-coming strategies against plant-parasitic nematodes in banana cropping systems of the French West Indies. ISHS-ProMusa Symposium. "Recent advances in banana crop protection for sustainable production and improved livelihoods, Greenway woods Resort, White River, South Africa, September 10-14th.

Sinfort, C., Y. Gil, et al., 2007. Influence of sprayer technologies on losses to the air and on the ground during typical vine spraying. 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing (SuProFruit), Inarp-Malmö, SWE, 12-14/09/2007 / 9th Workshop on Sustainable Plant Protection Techniques in Fruit Growing. Book of Abstracts, 40-41.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Temple L., Sibelet N., 2006. Socio-economic determinants of innovation in horticultural production systems [Poster]. In: Global horticulture: Diversity and harmony: XXVII International Horticultural Congress, August 13-18, 2006, Seoul, Korea.

Tixier P., 2006. Construction and calibration of a nematode population dynamics model: application to the management of plant-parasitic nematodes in bananas. In: Ciancio, A., Quénéhervé, P., Magunacelaya, J., C., Manzanilla Lopez, R., H., Kokalis Burelle,N., Inserra, R., N., Esquivel, A, Scurrah, M., eds, XXXVIII Organization of Nematologist of Tropical America – San Jose, Costa-Rica 26-31 July 2006, book of proceedings, p. 40.

Tixier P., Malézieux E., 2007. A Food web based model for cropping system simulation: a first application to banana systems. EcoSummit2007, Beijing, China, May 22-27, 2007, book of proceedings', p. 247.

Tixier, P., 2008. Modelling nematode populations in horticultural systems. 5th International Congress of Nematology, 5ICN, Brisbane, Australia, July 13-18, 2008, book of proceedings', p. 65.

Tixier P., Malézieux E., Dorel M., Cote F.X., Wery J., 2007. How to design a model for prototyping cropping systems. Example of Simba for banana-based systems. In: M. Donatelli, J. Hatfield, A. Rizzoli (Eds.) Farming Systems Design 2007, International Symposium on Methodologies on Integrated Analysis on Farm Production Systems, Catania (Italy), 10-12 September 2007, book 2 Field-farm scale design and improvement, p. 251-252.

Valdés H., Fermaud M., Calonnec A., Gary C., 2006. Relationships between vine vigour and the incidence of grey mold and powdery mildew in Aranel grapevine. In: M. Fotyma, B. Kaminska (eds) Proceedings of the IX ESA congress, 4-7 Septembre 2006, Varsovie, Bibiotheca Fragmenta Agronomica 11: 489-490.

2. Publications en France

2.1 Articles acceptés en France

Bonin M., Cattan P., 2006. Pratiques de jachère et dispositifs d'appui en production bananière guadeloupéenne. Fruits, 61, 83-98.

Bonin M., Cattan P., Dorel M., Malézieux E., 2006. L'émergence d'innovations techniques face aux risques environnementaux. Le cas de la culture bananière en Guadeloupe : entre solutions explorées par la recherche et évolution des pratiques. In: Agronomes et Innovations. J. Caneill (ed.). L'Harmattan, Paris, 123-135.

Cances A.L., Temple L., Houdart M., 2008. Innovations institutionnelles pour la diminution de l'utilisation de pesticides en bananeraie en vue de protéger la ressource en eau. Courrier de l'environnement de l'Inra, 56, 97-104.

Houdart M., Bonin M.,Temple L., 2009. Dynamique d'acteurs (agriculteurs et institutions) et innovation agro-écologique pour la gestion des risques environnementaux en Guadeloupe. VertigO, 9, 1-7.

Rio P., 2008. Réduire les pollutions diffuses. Inra Sciences sociales, recherches en économie et sociologie rurales, n°4-5, 1-4.

Temple L., Marie P., Bakry F., 2008. Les déterminants de la compétitivité des filières bananes de Martinique et Guadeloupe. Economie rurale 308, 36-54.

Tixier, P., 2006. Evaluation assistée par modèle des risques environnementaux à l'échelle de la parcelle : exemple des systèmes de culture à base de bananiers. Les cahiers du PRAM, 6, 32-35.

Valdés H., Celette F., Fermaud M., Cartolaro P., Clerjeau M., Gary C., 2005. Comment évaluer l'importance de la vigueur végétative dans la sensibilité de la vigne aux maladies cryptogamiques ? Progrès agricole et viticole, 123, 243-247.

2.2 Articles soumis en France

2.3 Communications France

Andrieux, P., 2006. Effets des pratiques culturales sur le ruissellement et l'érosion. In: Séminaire Vigne, Sol et environnement, 7 février 2006, Inra - Montpellier SupAgro (http://www1.montpellier.inra.fr/vignesolenv/actes/ANDRIEUX.pdf)

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Andrieux, P., 2006. Quelles techniques d'entretien du sol pour limiter la contamination des eaux par les pesticides ? Colloque régional PSDR : recherches « Pour et sur le développement régional » en Languedoc-Roussillon. 21 juin 2006. INRA, Montpellier. (oral)

Andrieux P., Louchart X., Negro S., Cambon B., Voltz M., 2007. Influence des pratiques d'entretien du sol viticole sur les transferts de glyphosate et d'AMPA par ruissellement. Trois années d'expérimentation. 20ème Conférence du COLUMA. Journées Internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes, Dijon, France, 11-12 decembre, 2007, 518-524.

Biarnès A., Barbier J.M., 2006. Diversité des pratiques d'entretien annuel du sol et de protection phytosanitaire, In: Séminaire Vigne, Sol et environnement, 7 février 2006, Inra - Montpellier SupAgro (http://www1.montpellier.inra.fr/vignesolenv/actes/BIARNES1.pdf).

Barbier J.-M., Biarnès A., Paré N., 2009. Pratiques viticoles : méthodes d'analyse et de modélisation en vue de l'évaluation d'impacts hydrologiques, In : Séminaire final des projets portant sur la viticulture et le développement durable, Programme Fédérateur "Agriculture et développement durable", 2 avril 2009, Paris (oral + résumé 2 p.).

Blanc M., Louchart X., Voltz M., Colin F., 2006. Modélisation du transfert des pesticides à l'échelle d'un petit bassin versant agricole. 36ème congrès du Groupe Français des Pesticides. Strasbourg, 29-31 mai 2006 (poster et résumé étendu).

Gary C., 2006. Une stratégie de protection des sols aux effets complexes : l'enherbement. In: Séminaire Vigne, Sol et environnement, 7 février 2006, Inra - Montpellier SupAgro (http://www1.montpellier.inra.fr/vignesolenv/actes/GARY1.pdf)

Gary C., Ripoche A., Celette F., 2009. Simulation et analyse multicritère de stratégies d'enherbement des vignobles. In : Séminaire final des projets portant sur la viticulture et le développement durable, Programme Fédérateur "Agriculture et développement durable", 2 avril 2009, Paris (oral + résumé 2 p.).

Houdart M., Bonin M., Saudubray F., Fort M., 2006. Un itinéraire méthodologique pour modéliser les interactions agriculture-environnement. Application à un territoire rural martiniquais. Colloque "Interactions Nature-Société, analyses et modèles", La Baule, 3-6 mai 2006, 6p.

Louchart X., Andrieux P., Bonicelli B., Colin F., Guilaume S., 2009. Modélisation de la contamination des eaux par les pesticides en situation viticole méditerranéenne. In : Séminaire final des projets portant sur la viticulture et le développement durable, Programme Fédérateur "Agriculture et développement durable", 2 avril 2009, Paris (oral + résumé 2 p.).

Rio P., Ali M., 2009. Pollutions diffuses et mécanismes de régulation. In : Séminaire final des projets portant sur la viticulture et le développement durable, Programme Fédérateur "Agriculture et développement durable", 2 avril 2009, Paris (oral + résumé 2 p.).

Sinfort C., Cotteux E., Ruelle B., DeRudnicki V., Bonicelli B., 2009. Une méthodologie pour évaluer les pertes de pesticides vers l'environnement pendant les pulvérisations viticoles. Colloque STIC & Environnement, Calais, 14 pages.

Sinfort C., Cotteux E., Ruelle B., DeRudnicki V., Bonicelli B., 2009. Mesure des pertes de pesticides pendant les pulvérisations viticoles. Colloque GFP, 14-15 mai Toulouse (poster et résumé)

Temple L., Marie P., 2005. Les coordinations sur le travail, un déterminant de la compétitivité des filières bananes dans les Antilles. Communication au symposium International INRA « Territoire et enjeux du développement régional »

Temple L., Marie P., Bakry F., Joubert N., 2008. Evolution vers une agriculture sans pesticide pour la production de bananes : une adaptation nécessaire des coordinations sur le travail. Working Paper MOISA N°2/2008. INRA, Montpellier.

Voltz M., 2006. Quelles techniques d'entretien du sol pour limiter la contamination des eaux par les pesticides. In: Séminaire Vigne, Sol et environnement, 7 février 2006, Inra - Montpellier SupAgro (http://www1.montpellier.inra.fr/vignesolenv/actes/VOLTZ1.pdf)

2.4 Rapports et documents diplômants

Ali M., 2008. Mécanismes collectifs pour la gestion des pollutions diffuses. Thèse de doctorat en sciences économiques, Université Montpellier I.

Andrieux P., Coulouma G., Zante P., 2007. Impact de techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la structure des sols viticoles. Rapport final de contrat. XII° contrat Etat Région

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Languedoc-Roussillon, Action régionale concertée “Pérennité des sols viticoles, itinéraires culturaux et activité biologique des sols”. 42 p., UMR LISAH, INRA Montpellier.

Arondel E., 2006. Stratégies et pratiques d’entretien du sol et de traitements phytosanitaires des viticulteurs du bassin de La Peyne (Hérault) : contribution à une identification des comportements à risques de ruissellement polluant. Mémoire de fin d’études, Ingénieur de spécialisation en agronomie tropicale, CNEARC, Montpellier, 176 pages + annexes.

Barbier J.M., Biarnès A., 2006. Premier bilan des résultats obtenus sur les pratiques culturales d'entretien du sol et de traitements phytosanitaires dans le bassin versant de La Peyne. Document interne, 9 p.

Béranger M., 2006. Etude des pratiques phytosanitaires sur le sous bassin versant viticole de la Vaillele à Neffies (34). Partie 1: Analyse des pratiques. Mémoire d'ingénieur agronome de l'ENSAT, 55 p.

Béranger M., 2006. Etude des pratiques phytosanitaires sur le sous bassin versant viticole de la Vaillèle, à Neffies (34) Partie 2 – Evaluation des pertes au sol. Mémoire d’ingénieur agronome, Diplôme d’Agronomie Approfondie, SupAgro Montpellier, 18 pages.

Blazy, J-M., 2008. Evaluation ex ante de systèmes de culture innovants par modélisation agronomique et économique : de la conception à l’adoption. Cas des systèmes de culture bananiers de Guadeloupe. Thèse de doctorat, Supagro Montpellier. 192 pages.

Blazy, J-M., Diman, J-L., Causeret, F., 2008. Premiers éléments d’expertise sur la filière bananière Antillaise et ses perspectives d’évolution. Rapport d’expertise remis au Ministère de l’Agriculture et de la Pêche dans le cadre de l’élaboration du Plan Banane Durable. Septembre 2008.

Blazy JM, Diman JL, 2009. Economie de l’innovation : conditions d’adoption de systèmes de culture innovants en substitution d’intrants chimiques dans les exploitations bananières en Guadeloupe. Rapport d’exécution du projet MOM 2007-2008, 29p.

Boucherit C., 2007. Evaluation ex-ante de l’acceptabilité d’innovations à caractère technique et organisationnel en viticulture. Cas de la protection phytosanitaire : influence du parcellaire agricole sur les conditions d’appropriation de la protection raisonnée. Mémoire de fin d’études, DIAT, IRC/Supagro. 63 p. + annexes.

Blazy J.M., 2006. Détermination ex-ante des conditions d'adoption de systèmes de culture innovants : cas des systèmes bananiers en Guadeloupe. Inra, Document interne, 23 p. + biblio.

Blazy, J-M., Diman, J-L., Causeret, F., 2008. Premiers éléments d’expertise sur la filière bananière Antillaise et ses perspectives d’évolution. Rapport d’expertise remis au Ministère de l’Agriculture et de la Pêche dans le cadre de l’élaboration du Plan Banane Durable. Septembre 2008.

Cances A.L. 2006. Innovations institutionnelles pour la diminution de l’utilisation de pesticides en bananeraie en vue de protéger la ressource en eau. Master, option « Gestion sociale de l’eau », CNEARC, 121 p.

Celette F., 2007. Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen. Thèse de doctorat de Montpellier SupAgro, 180 p.

Charlier J.B., 2007. Fonctionnement et modélisation hydrologique d’un petit bassin versant cultivé en milieu volcanique tropical. Thèse de l’Université Montpellier II ; Ecole Doctorale SIBAGHE, laboratoire d’accueil CIRAD-FLHOR/ Guadeloupe, 246 p.

Cobacho A., 2005. Impact de la mise en place de l'agriculture raisonnée sur la dynamique des coopératives : études de cas dans le secteur viticole du Languedoc Roussillon, Master développement rural et projets, CIHEAM, UMR Innovation, 161 p.

Constant N., 2008. Influence des pratiques de la viticulture biologique par rapport au risque de ruissellement polluant en zone de VDP – VDT, rapport interne AIVB-LR, 14 p.

Cotteux E., 2007. "Projets LIFE AWARE et ADD GeDuQuE, Rapport d'expérimentation 2007." rapport interne ITAP: 42 pages.

Dagba-Bochaton M., 2007. Analyse des contraintes hydriques entre la vigne et différents types d’enherbements en région méditerranéenne et adaptation d’un modèle de bilan hydrique. Mémoire de fin d’études, ENSA Rennes.

Dagès C. 2006. Analyse et modélisation de l'influence de réseaux de fossés sur les échanges surface-souterrain en bassin versant méditerranéen. Thèse de doctorat, *Université Montpellier II.*

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’études de Montpellier SupAgro, 80 p.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Grosjean M., 2006. Appui au projet « Transfert hydrique en milieu tropical humide sur le bassin de Féfé en Guadeloupe : objectifs, méthodologie et pistes d'interprétation». Rapport INRACIRAD, compte-rendu du CDD 8/12/2005 – 7/3/2006, 15p.

Hofmann A., 2006. Conception et évaluation multicritère d'itinéraires techniques d'enherbement des parcelles viticoles : construction d'un prototype d'outil. Mémoire de master « sciences et technologies du vivant », INAPG.

Houdart M., 2007. Production, accès et circulation de l'information scientifique et technique et rôle de celle-ci dans la dynamique de changement en Guadeloupe. Rapport de post-doc, 30p. + annexes.

Khater F., 2007. Analyse et modélisation du déroulement temporel des travaux d'entretien du sol et de protection phytosanitaire dans les systèmes viticoles. Master INA-PG Science et technologie du vivant, mention SAGEP, Juin 2006.

Lagrevol J., 2007. Etude des pratiques phytosanitaires sur le sous-bassin versant viticole de la Vaillele, à Neffies (34). Mémoire de Master professionnel, Agrocampus de Rennes, SupAgro Montpellier - Spécialité Sciences et productions végétales, option Agronomie: 58 p.

Latgé E., 2007. Analyse et modélisation du déroulement temporel des travaux d'entretien du sol dans les systèmes viticoles. Mémoire d'ingénieur ENSAIA Nancy. 20 p.

Le Bras A., 2006. Etude de l'impact de la vigueur végétative de la vigne sur le développement épidémiologique de l'oïdium. Mémoire de 4ème année, ESITPA, Le Vaudreuil.

Liet O., 2008. Evaluation des émissions de produits phytosanitaires vers l'environnement lors des traitements viticoles. Mémoire d'ingénieur agronome de l'école Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse, 79 p.

Louchart X., Negro S, Andrieux P., Voltz M., 2006. Glyphosate fate in soil and runoff water in vineyard in South-France. Comparison of four soil treatment practices. UMR LISAH, Montpellier, rapport interne, 50 pp.

Mezière D., Gary C., Barbier J.M., Rio P., Bernos L., Clément C., Constant N., Delière L., Forget D., Grosman J., Molot B., Sauvage D., Sentenac G., 2008. Ecophyto R&D, vers des systèmes de culture économes en produits phytosanitaires. Tome III, analyse comparative de différents systèmes en viticulture, MEEDDAT-MAP-INRA, 57 p. + annexes.

Mouenzy L., 2007. Etude de l'impact des pratiques agricoles sur la qualité de l'eau dans un bassin versant cultivé. Mémoire de Master Sciences et Technologie, Université Montpellier II, SupAgro Montpellier – Spécialité Biostatistique.

Moulai A., 2006, Comprendre l'information dont disposent les viticulteurs pour réduire leurs activités polluantes – cas de la zone périurbaine de Montpellier. mémoire de Master 2 Recherche EGDAAR, UM1-Montpellier SupAgro, 142p+annexes.

Paré N., 2007. Etude de la variabilité et de la dynamique des états de surface des sols viticoles méditerranéens. Mémoire d'Ingénieur Agronome AgroParisTech, UMR LISAH Montpellier, 90 pages.

Petetin C., 2007. Effets de différentes modalités de travail du sol et du semis direct sur la qualité du sol de bananeraie en Guadeloupe. Master pro en sciences et techniques biodiversité tropicale, Université Antilles-Guyane.

Peregrine D., 2007. Mobilisation des outils du diagnostic agraire dans une démarche d'évaluation ex ante d'innovations techniques. Mémoire d'ingénieur ENITA Clermont Ferrand et DAT de l'IRC/SUPagro, 106 p.

Roquelaure C., 2008. Impact des outils de formation et d'information sur les changements techniques pour diminuer l'utilisation des pesticides en Guadeloupe. Master 2 d'Information et Ingénierie Economique et Financière des Projets de l'Université de Montpellier 1, 98 p.

Sinfort C., Cotteux E., 2009. Aware GeDuQuE: synthèse des expérimentations 2006 - 2008. 27 p.

Suarez, C., 2008. Synthèse des données hydrologiques, chimiques et de pratiques culturales sur le bassin de Roujan 1992-2007 (rapport interne UMR Lisah).

Temple L., Marie P., Bakry F., 2005. Analyse de la compétitivité et de l'impact économique des filières de production de bananes en Martinique et Guadeloupe. Volets I, 2, 3, 4, 5 rapport final, Ministère de l'agriculture.

Temple L., Marie P., Bakry F., Joubert N., 2008. Evolution vers une agriculture sans pesticide pour la production de bananes : une adaptation nécessaire des coordinations sur le travail. Working Paper MOISA N°2/2008. INRA, Montpellier.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Touzard J.M., 2006. Viticulture raisonnée et réduction de la pollution des eaux : synthèse des travaux socio-économiques conduits à Roujan en en Languedoc (2004-2005). Rapport de synthèse, Inra UMR innovation, ADD GeDuQuE, 12 p.

Valdés H., 2007. Relations entre états de croissance de la vigne et maladies cryptogamiques sous différentes modalités d'entretien du sol en région méditerranéenne, Thèse de doctorat de Montpellier SupAgro, 107 p.

Valdivieso F., Compagnone C, 2009. Changements de pratiques et réseaux de dialogues des viticulteurs du bassin versant de la Peynes, Rapport du projet GeDuQuE, UMR Listo, INRA Dijon, 60 p.

Viaud F.C., 2008. Le soja pérenne, plante de couverture en bananeraie, étude de la fixation d'azote et des effets allélopathiques, Université des Antilles et de la Guyane, 40 p.

3. Actions de diffusion

3.1 Articles vulgarisation

3.2 Conférences vulgarisation

Blazy, J-M., Diman, J-L., Causeret, F., Peregrine, D., 2008. Banana sector in the French West Indies in the 21st century : Typology of farmer's rooms for manoeuvre to adapt their cropping systems to crisis. Poster présenté à la 44th Annual meeting of the Caribean Food Crop Society, July 13-17, 2008, Miami.

Blazy, J-M., de Barros, I., Rodrigues, G.S., Ozier-Lafontaine, H., 2008. Environmental damages versus economic performance, sustainability of guadeloupean banana cropping systems in question : an emergetic approach. Poster présenté à la 44th Annual meeting of the Caribean Food Crop Society, July 13-17, 2008, Miami.

Sinfort C., 2007. Les pertes de produits phytosanitaires dans l'environnement pendant les applications : le rôle du matériel. Euroviti, Montpellier, FRA, 29 Novembre 2007, 6 pages.

3.3 Autres

Rio P., 2008. Peut-on réguler les pollutions diffuses ?. In : MC Leclerc et P. Scheromm (eds) L'eau, une ressource durable ? Sceren, Poitiers (France), 42-45.

Blazy J-M., Causeret F., 2005. Banamarge : Outil de simulation technico-économique des exploitations bananières pour l'aide à la décision. Notice d'utilisation du logiciel. Version 1.01, novembre 2005.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

D. Rapport scientifique

D.1 Résumé

La question de la qualité des eaux est devenue aiguë dans certains bassins versants occupés en majorité par des systèmes de culture basés sur un recours fréquent aux pesticides. C'est le cas des bassins bananiers aux Antilles et viticoles en Languedoc pour lesquels il faut concevoir des alternatives plus favorables au développement durable des régions concernées. Plusieurs changements de pratiques agricoles sont envisageables. Les modalités de leur mise en œuvre dans l'espace d'un bassin versant et par des exploitations agricoles diverses, et de la prise en charge collective du changement par des interventions publiques ou privées restent à définir. L'objectif du projet GeDuQuE était d'identifier et d'assembler des innovations techniques et organisationnelles, et de réaliser une évaluation intégrée par simulation de leur contribution au développement durable.
Cela supposait un investissement méthodologique dans plusieurs directions. Des alternatives techniques sont disponibles d'une part pour réduire le recours aux pesticides (par exemple des cultures de service pour réduire le recours aux herbicides ou pour leurs propriétés nématifuges), et d'autre part pour réduire la diffusion des pesticides appliqués (par exemple des méthodes d'entretien du sol réduisant le ruissellement). Ces pratiques culturales doivent être intégrées dans des stratégies d'agriculteurs et leurs modèles d'action. Les processus associés doivent être intégrés dans des modèles agronomiques et hydrologiques pour simuler les performances de nouveaux systèmes de culture. Les impacts sont attendus à l'échelle de bassins versants, ce qui impose une spatialisation des processus tant physiques que sociaux : intégration des processus hydrologiques, distribution spatiale des types d'exploitations agricoles et des pratiques, réseaux de dialogue… Enfin, l'acceptabilité des alternatives techniques par les agriculteurs, à titre individuel et dans les réseaux auxquels ils appartiennent, ainsi que les mesures d'accompagnement susceptibles de la renforcer doivent être évaluées.
La dynamique du projet a conduit à mettre en œuvre une même boucle de conception/évaluation sur les deux terrains, avec des déclinaisons méthodologiques différentes et/ou complémentaires. Elle fait se succéder les étapes suivantes : (1) évaluation de l'impact du contexte social et institutionnel sur les choix stratégiques des agriculteurs, (2) identification de stratégies innovantes, (3) construction de systèmes candidats et des modèles d'action correspondants, (4) évaluation de leurs performances agronomiques et environnementales, (5) étude de l'adoptabilité des systèmes innovants.

L'analyse du poids du contexte social et institutionnel sur les choix stratégiques actuels des agriculteurs a été réalisée, sur les bassins bananiers et viticoles, à partir de l'observation et de la modélisation des réseaux de dialogue entre agriculteurs et des mécanismes institutionnels mis en place pour assurer la gestion de la qualité de l'eau. L'analyse des réseaux de dialogue entre agriculteurs révèle qu'il existe des échanges d'information plus actifs sur les stratégies en situation de crise que sur les techniques, et que certaines configurations spatiales sont favorables aux échanges. Leur représentation dans un modèle multi-agent permet d'analyser la sensibilité de la diffusion de l'information et de la diffusion des systèmes de culture innovants à la structure des réseaux de dialogue. Il apparaît que le nombre, plus que la force, des liens conditionne la diffusion des innovations techniques.
Les institutions mettent en place des instruments spécifiques pour prendre en charge la question de la qualité des eaux. L'observation de leur mise en œuvre montre que l'impact des mesures coercitives est limité et que la mobilisation des agriculteurs par les mesures incitatives et pédagogiques est inégale. La modélisation permet d'explorer des outils économiques non conventionnels, tel que l'allocation de permis à polluer, plus adaptés au caractère diffus de la pollution par les pesticides agricoles.

L'exploration de solutions techniques potentiellement innovantes pouvant êtes proposées à une diversité de types d'agriculteurs a pris des formes différentes dans les bassins bananiers et viticoles, même si elle s'est appuyée dans les deux cas sur des typologies d'exploitations agricoles. Dans le

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

contexte de la production bananière antillaise, le choix a été fait d'intégrer des nouveautés techniques issues de la recherche et du développement par une démarche de prototypage. Une typologie des exploitations bananières a été bâtie sur les caractéristiques et les performances des systèmes de culture et sur le contexte économique et pédo-climatique. Pour chaque type de ferme, experts et agriculteurs ont identifié les améliorations potentielles dans le sens du développement durable, les fonctions et techniques à promouvoir, les prototypes permettant de réaliser ces objectifs, la réduction ou l'augmentation des contraintes qui en résulteraient, et la compatibilité des prototypes avec les types de fermes.
Dans le cas des bassins viticoles, l'accent mis sur l'évaluation spatialisée des impacts environnementaux de la nature et de la distribution des systèmes de culture a conduit à orienter la typologie d'exploitations agricoles sur les comportements techniques. C'est donc une typologie de modèles d'action qui a été construite à partir d'une observation par enquêtes des itinéraires techniques d'entretien du sol et de protection phytosanitaire, les variables de structure et de performances étant considérées comme des variables supplémentaires. La typologie permet d'identifier des systèmes vertueux, déjà existants, et dont on souhaite promouvoir la généralisation. A chaque type est associé un modèle décisionnel, destiné à prédire des séquences d'interventions techniques et permettre ainsi une évaluation de ses performances agronomiques et environnementales. On peut ainsi simuler les conséquences de différents scénarios de distribution spatiale des types d'exploitations agricoles et des modèles d'action associés.

Plusieurs instruments d'évaluation des performances économiques et environnementales des systèmes candidats ont été mobilisés, en tenant compte de l'état de l'art sur les deux systèmes étudiés. Pour les bassins bananiers, l'activité s'est concentrée autour d'un modèle bio-physique (Simba) simulant la dynamique de l'ensemble sol – culture – nématodes sous l'effet des systèmes de culture envisagés, et d'un modèle bio-économique (Banad) simulant les performances économiques (revenu, charge en travail…) des exploitations adoptant ces systèmes de culture. Pendant le développement de fonctions spécifiques aux écosystèmes tropicaux dans le modèle hydrologique MHYDAS, l'évaluation de l'impact environnemental des pesticides a été réalisée à l'aide d'un indicateur agri-environnemental, Rpest.
Dans les bassins viticoles, l'avancement du modèle MHYDAS a justifié un plus grand investissement sur l'évaluation des effets de la distribution temporelle et spatiale des pratiques agricoles sur la circulation de l'eau et des polluants dans un site atelier. L'accent a été mis sur les échanges surface-souterrain, sur la distribution des dépôts de pesticides entre différents compartiments, et sur le passage de simulations évènementielles à des simulations continues. Ce dernier point était essentiel pour la prise en compte des séquences d'opérations culturales associées aux systèmes de culture candidats. Une attention particulière a été portée aux conditions d'utilisation du modèle MHYDAS hors du site atelier, dans des bassins versants moins bien renseignés, par une approche d'expérimentation numérique. La modélisation de la vigne a servi une activité de génération de systèmes de culture innovants par simulation et analyse multicritère.

Enfin, l'adoptabilité des systèmes de culture innovants a été évaluée sur les bassins bananiers à l'aide d'un modèle économétrique de choix discret. Cette approche combine des épreuves d'adoption auxquelles des agriculteurs sont soumis par enquête, et la recherche de corrélations avec des variables descriptives des systèmes de culture, des exploitations agricoles et de leur contexte économique, institutionnel et physique. Les taux d'adoption des différentes innovations techniques sont variables. De fortes interactions sont observées entre d'une part les caractéristiques des innovations techniques et des politiques d'accompagnement et, d'autre part, le niveau d'anticipation des agriculteurs. L'accès à l'information et au crédit ainsi que l'aversion au changement jouent des rôles importants.

Ainsi, dans le temps limité d'un projet de recherche, les équipes participantes ont mobilisé des outils méthodologiques, de nature ou d'état d'avancement quelquefois différents, dans un même boucle de conception/évaluation d'innovations techniques et organisationnelles.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

D.1 Mémoire

Enjeux et problématique, état de l'art

Développement durable et qualité de l'eau dans les bassins viticoles et bananiers

Des monocultures pérennes fortes consommatrices de pesticides dominent dans certaines régions, et les résidus de ces produits dans les eaux de surface et les eaux souterraines constituent une menace pour la santé humaine et l'environnement. Le développement durable de ces régions est questionné du fait de cette dégradation de l'environnement physique et biologique, et des coûts quelle génère pour l'agriculteur (protection des cultures dans un contexte pauvre en régulations naturelles) et pour la société (traitement des eaux, nuisances sur les autres activités humaines). Cela peut conduire à des mesures réglementaires (interdictions d'usage de pesticides) ou des évolutions du marché (cahiers des charges commerciaux sur la qualité des produits ou les impacts environnementaux) qui imposent une évolution rapide du jeux de contraintes sur les activités agricoles.

Dès lors, il faut imaginer le passage à des pratiques agricoles moins polluantes à une échelle pertinente pour espérer un impact sur la qualité de l'eau, c'est-à-dire au minimum celle du bassin versant. Ces pratiques nouvelles doivent être mises en œuvre par des exploitations agricoles, gérant chacune un ensemble de parcelles dans cet espace et communiquant entre elles et avec différents interlocuteurs (organismes de développement agricole, entreprises d'agrofourniture et de conseil, administrations…). Cela suppose des changements coordonnés de différentes natures et à différentes échelles : techniques de production sur des parcelles distribuées dans l'espace, organisation spatiale des éléments de paysage, fonctionnement technico-économique des exploitations et des structures de collecte et de mise en marché, modalités de gestion collective du risque de pollution… De tels changements doivent restaurer les conditions d'un développement durable, tant d'un point de vue économique et social que d'un point de vue écologique.

Le projet ADD GeDuQuE a abordé cette problématique dans deux contextes différents des points de vue environnementaux (sols, régimes climatiques, organisation des bassins versants), économiques et sociaux (structures d'exploitation agricole, structures de mise en marché et/ou de transformation) : les bassins bananiers en régions tropicales (Antilles) et les systèmes viticoles en régions méditerranéennes (Languedoc).

Pour une évaluation intégrée des changements de pratiques à l'échelle d'un territoire

L'enjeu est d'identifier et d'assembler des innovations techniques et organisationnelles, et d'évaluer *ex ante* leur contribution au développement durable des bassins versants étudiés. En termes méthodologiques, cet exercice d'évaluation intégrée (*integrated assessment*) présente plusieurs difficultés : l'articulation de processus à différents niveaux d'intégration spatiaux et temporels, le chaînage des modèles correspondants, et l'agrégation d'indicateurs de différentes natures (environnementaux, économiques, sociaux) (van Ittersum et al., 2008). Plusieurs approches ont été explorées dans ce domaine ; elles ont en commun une vision systémique du problème, la mobilisation concertée de plusieurs disciplines scientifiques et l'utilisation de modèles pour simuler les performances de différents scénarios (Parker et al., 2002).

Le projet ADD GeDuQuE a permis de mettre en place un processus de construction d'une vision partagée et d'une intégration des connaissances et modèles autour des deux études de cas.

Pratiques culturales et impacts environnementaux

Dans les monocultures étudiées, la maîtrise de la contrainte biotique a jusqu'à présent surtout reposé sur de lourds traitements phytosanitaires alors que sont mobilisables d'autres composantes des systèmes de culture susceptibles de réduire les besoins de protection. Dans les cultures bananières, la mise en place de successions culturales avec d'autres espèces ou d'association avec des plantes dites de service (Malezieux et al., 2004) peut modifier la dynamique des populations de bioagresseurs (Tixier, 2004), les propriétés physiques et chimiques du sol, la couverture du sol... En viticulture, l'enherbement des inter-rangs modifie également l'environnement aérien et souterrain de la culture. Il concurrence la vigne pour l'accès aux ressources hydriques et minérales, entraînant ainsi une réduction de sa croissance végétative (Celette et al., 2005) et une modification du microclimat des organes sensibles dans un sens défavorable aux maladies cryptogamiques (Valdés et al., 2008).

Par ailleurs, les pratiques culturales affectent l'impact environnemental de la protection phytosanitaire. Les états de surface résultant de l'entretien du sol sont un facteur de variabilité et de contrôle de la

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

diffusion des pesticides hors de la parcelle agricole (Voltz et Louchart, 2001). En ce qui concerne les systèmes de culture étudiés par ce projet, peu de références expérimentales sont disponibles (Voltz et al., 2003 ; Cattan et al., 2005) et les connaissances actuelles ne permettent pas de prévoir le bilan environnemental d'un itinéraire technique donné dans un milieu donné. Il reste à évaluer par exemple l'intérêt de plantes de services localisées sur les inter-rangs de vigne ou de bananiers afin de limiter le ruissellement et favoriser la rétention et la dissipation des pesticides épandus, et à intégrer ces données dans des modèles spécifiques reliant itinéraire cultural, états de surface, conditions climatiques et potentiel contaminant dans le cas des systèmes de culture viticoles et bananiers.

Le caractère spatial des processus physiques et sociaux

Du point de vue des processus physiques, la propagation d'une contamination est fortement liée aux caractéristiques hydrologiques des bassins versants en interaction avec la répartition spatiale des cultures et des itinéraires techniques (Moussa et al., 2001). Mais peu d'études ont réellement étudié les mécanismes de propagation de la parcelle au bassin versant (e.g. Louchart et al., 2001), étant donnés la difficulté et le coût du monitoring à cette échelle. Beaucoup de modèles existants (SWAT, HSPF, CREAMS) pêchent par la trop grande simplification des processus ou par l'incapacité de représenter l'influence des infrastructures paysagères (talus, haies, fossés, bandes enherbées) dont le rôle est pourtant déterminant (Moussa et al., 2001 ; Lacas et al., 2005). Le modèle hydrologique spatialisé MHYDAS (Chahinian, 2004) prend en charge les effets de la distribution spatiale des états de surface et des aménagements paysagers à l'échelle d'un événement pluvieux. La simulation de la dynamique des processus tout au long d'un cycle cultural reste à construire.

La distribution spatiale et la dynamique des pratiques culturales résulte d'activités agricoles et de processus sociaux eux-mêmes spatialisés. Les caractéristiques du parcellaire pèsent sur les choix techniques de production au niveau de l'exploitation agricole (Morlon et Benoit, 1990). Cela justifie des analyses spatiales des pratiques et du fonctionnement des exploitations (Bonin et Lardon, 2002 ; Biarnès, 2004). Si les typologies d'exploitations agricoles sont rarement spatialisées, les dimensions spatiales et fonctionnelles peuvent être intégrées pour définir des types (Houdart et al., 2004). Par exemple, une démarche pour contribuer à l'évaluation de l'impact d'un système rural sur la pression polluante au niveau d'un bassin versant et de sa capacité d'évolution a été mise au point sur le bassin versant de la rivière Capot en Martinique (Houdart, 2005). Pour différents scénarios d'évolution foncière, les dynamiques spatiales des types d'exploitation, des systèmes de culture, et d'un indicateur de pression polluante sont suivies.

La question de l'acceptabilité des pratiques innovantes

Des travaux sur la protection intégrée (IPM), de nature économétrique et s'appuyant sur de grands échantillons, mettent en évidence des facteurs de structure et de fonctionnement qui accroissent la probabilité d'adoption de certaines pratiques (Fernandez-Cornejo, 1998). Les effets de l'adoption de l'IPM sur les rendements moyens et leur variabilité, coûts, marges et quantités de produits chimiques utilisés sont souvent jugés primordiaux pour son acceptabilité. Cependant d'autres travaux font ressortir le déficit d'approches systémiques et compréhensives dans les études précédemment mentionnées et la nécessité de mettre en œuvre des démarches plus intégratives (Vereijken, 1989). Les charges en travail dans les exploitations agricoles pèsent fortement sur les possibilités et les conditions de mise en œuvre de nouvelles stratégies et pratiques. L'organisation du travail peut être formalisée pour reproduire l'ordonnancement des opérations culturales et simuler leurs dates de réalisation (Leenhardt et Lemaire, 2002 ; Cordier et al., 2004), ou analyser les marges de manœuvre disponibles pour l'adoption de nouvelles pratiques (Joannon, 2004). Dans le cas de la viticulture comme de la production bananière, la présence de nombreux travaux manuels, la forte imbrication possible de différentes tâches, les formes variées d'accès à la main d'œuvre rendent une telle formalisation complexe. Par ailleurs, de l'exploitation agricole au bassin versant, les réseaux sociaux affectent la circulation de l'information et les argumentaires qui soutiennent les choix de pratiques (Compagnone, 2004).

Ce problème d'information est particulièrement aigu dans le traitement d'un problème de pollution (Braden et Segerson, 1993). En effet, cette externalité négative est possible et durable parce qu'à la différence de la production, elle n'est pas évaluée par le marché. Deux directions de travail ont été envisagées pour contourner le caractère diffus de la responsabilité des producteurs (1) en imposant une contrainte d'auto-sélection, la différenciation des producteurs hétérogènes résultant de la mise en œuvre d'un principe de révélation (Turpin et al., 2005), grâce à des mécanismes de type enchères

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

(Taylor et al, 2004) ou négociation (Rio, 2005), (2) en privilégiant une approche compréhensive des choix de pratiques, basée sur une bonne modélisation du processus de décision.
Le présent document s'appuie non seulement sur les résultats obtenus dans les différents volets du projet ADD-GeDuQuE, mais également sur une dynamique collective qui a conduit à renforcer progressivement la cohérence du projet autour d'une approche intégrée du problème étudié. C'est cette approche intégrée qui est décrite dans le *Matériel et méthodes* et qui structure la présentation des *Résultats*.

Matériel et méthodes

Evaluation ex ante ou ex post ?
L'innovation est un processus dynamique par lequel se crée, se diffuse et se ré-invente par l'usage, une nouveauté (à caractère technique ou technologique lorsque la parcelle est concernée, et/ou à caractère institutionnel ou organisationnel). L'évaluation *ex ante* des impacts et conséquences de l'introduction et de la diffusion d'une nouveauté signifie être capable d'en connaître les effets possibles alors que la nouveauté n'est soit pas encore connue des utilisateurs finaux, soit pas encore totalement adoptée.
Dans les faits, en agriculture et pour le domaine qui nous concerne ici (nouveaux systèmes de culture et de production), il est rare que les nouveautés soient entièrement inventées en laboratoire. Ainsi, toute une gamme de situations existe entre les innovations endogènes (du fait des acteurs eux mêmes), exogènes (étrangères au groupe social considéré) et les pures inventions de la recherche. Ceci souligne, d'un point de vue méthodologique, qu'il est toujours possible d'associer aux démarches de l'évaluation *ex ante* des méthodes provenant d'une posture d'évaluation *ex post* (observer des effets réels sur les systèmes en place).
Par ailleurs, le fait qu'il s'agisse de « systèmes » innovants et non de simples objets matériels (innovation à caractère incrémentale de type nouvelle variété par exemple) modifie également la manière d'appréhender l'évaluation.

Deux situations d'étude contrastées permettant d'explorer des méthodologies complémentaires
Les terrains d'étude retenus pour le projet GeDuQuE ont offert l'opportunité de se placer dans deux situations extrêmes : (i) dans le cas de la banane en Guadeloupe, des techniques issues de la recherche, potentiellement « amélioratrices » mais non stabilisées au sein de systèmes qu'il faut donc construire et évaluer *ex ante* et (ii) une innovation en cours portée par les acteurs du développement et des agriculteurs dans le cas de la viticulture en Languedoc-Roussillon. Cette confrontation a permis un élargissement des explorations méthodologiques que la présence d'un seul terrain n'aurait pas rendue possible.
Dans le cas de la banane en Guadeloupe et jusqu'à récemment, la situation environnementale et socio-économique n'avait pas justifié de forte remise en cause des systèmes de culture pratiqués. C'est très récemment qu'un plan d'amélioration de la durabilité de la production de banane (plan « banane durable ») a commencé à être discuté entre les différents acteurs concernés. Dans le cadre de ce plan, il convient de développer des innovations agro-écologiques en coordination avec la recherche. Cette dynamique renforce l'intérêt de construire, à partir des résultats obtenus en station expérimentale et des connaissances expertes, des systèmes innovants cohérents potentiellement adaptés aux exploitations bananières. L'objet innovant (le système) est donc à concevoir et l'évaluation ne peut qu'être fortement *ex ante* (d'où à l'échelle régionale le recours à des modèles économétriques d'adoption).
Dans le cas de la vigne, la volonté de re-considérer les systèmes viticoles, notamment pour les aspects liés à la protection phytosanitaire, date des années 90. A partir de référentiels nationaux et régionaux pour la production et la protection intégrée des raisins, des dispositifs d'accompagnement des viticulteurs se sont mis en place. Ces nouvelles stratégies de protection sont connues de tous mais très variablement appliquées. Ce contexte a justifié le choix de considérer l'innovation comme un processus en cours, l'objet innovant existe et il est possible de s'appuyer sur l'existant pour une évaluation *ex post*. Les principes de l'évaluation ex ante sont toutefois retenus pour les explorations à l'échelle du bassin versant, l'objectif est alors de mesurer les impacts d'une modification des proportions et répartitions de types d'exploitations agricoles dans le bassin versant. Malgré tout, la réalité ne permet d'explorer qu'une gamme limitée de systèmes nouveaux ; c'est le cas pour les

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

pratiques d'associations de culture dans le vignoble (enherbement par exemple) inexistantes dans la zone étudiée. Pour cette raison, la conception *in silico* à partir de résultats expérimentaux et de connaissances expertes provenant d'autres régions où ces pratiques sont répandues a été réalisée. Ainsi à partir d'un schéma d'organisation général identique entre les deux terrains, les spécificités de chaque situation d'innovation ont amené à en réaliser une déclinaison différenciée (Tableau 1).

Tableau 1. Méthodes et modèles mobilisés sur les bassins viticoles et bananiers dans le cadre du projet GeDuQuE.

		Banane	Vigne
Agronomie parcelle	Conception-évaluation multicritère		x
	Modèles de culture	x	x
Agronomie exploitation agricole	Modèle typologique	x	x
	Modèle d'action	x	x
Hydrologie bassin versant	Modèle hydrologique	x	x
Economie exploitation agricole	Modèle de décision		x
	Modèle d'adoption	x	
Economie publique	Modèle institutionnel	x	x
Sociologie, géographie	SMA	x	x
	Réseaux sociaux	x	x

Schéma d'organisation général commun et spécificités des terrains (Annexe 1)
L'idée, dans les deux cas, est celle d'une boucle de conception/évaluation qui associe les mêmes champs disciplinaires et les mêmes échelles de travail (Figure 1).

- Etape 1 : Les états du monde à t_0 (contexte réglementaire, prix, types d'exploitations agricoles, réseaux sociaux existants, état de la connaissance…) permettent de rendre compte des choix stratégiques mis en œuvre par les agriculteurs à cet instant du processus. A ce stade de l'analyse, la mise en relation est effectuée au moyen de méthodes de classification typologique (modèles typologiques).
- Etape 2 : Parmi ces choix, certains représentent différents « niveaux de rupture » par rapport à une situation antérieure jugée non souhaitable. A ces stratégies, lorsqu'elles existent, viennent s'ajouter d'autres possibilités imaginées et expérimentées en « laboratoire » ou provenant d'autres régions ou encore conçues *in silico* (appelées ici stratégies innovantes) et potentiellement adaptées à certaines catégories d'exploitations agricoles. A ce stade sont ainsi définies et caractérisées un ensemble de stratégies candidates dont on pense que la diffusion et/ou la généralisation représenterait un progrès, compte tenu de la ressource que l'on veut protéger.
- Etape 3 : Pour devenir de véritables systèmes innovants candidats, ces alternatives doivent être insérées dans des ensembles cohérents fonctionnels aux échelles où ils doivent être appliquées (parcelle et exploitation). Les stratégies précédentes, plus ou moins innovantes, deviennent alors des modèles pour agir ou modèles d'action (règles d'action mises en œuvre par un pilote).
- Etapes 4 et/ou 4' : Les étapes suivantes consistent en l'évaluation proprement dite des performances de ces systèmes innovants candidats. L'évaluation est multicritère et multi-échelle (parcelle, exploitation, bassin versant). A l'échelle du bassin versant (cas de la vigne uniquement), le modèle d'action permet de simuler, en fonction de scénarii climatiques différents, la succession des actes techniques (entretien du sol et épandages de produits phytosanitaires) dans le bassin versant ; il débouche donc sur des calendriers d'opérations culturales (type d'opération, date et modalité) pour chacune des parcelles du bassin versant. Le cœur de la modélisation réside dans la paramétrisation et l'initialisation, à partir des sorties de ces modèles d'action, d'un modèle hydrologique couplé à un modèle de devenir et de transfert des produits phytosanitaires appliqués (MHYDAS).

A l'échelle de la parcelle et de l'exploitation (cas de la vigne et de la banane) sont calculées les conséquences de la mise en oeuvre des nouveautés sur certains compartiments de l'environnement et sur les performances économiques.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

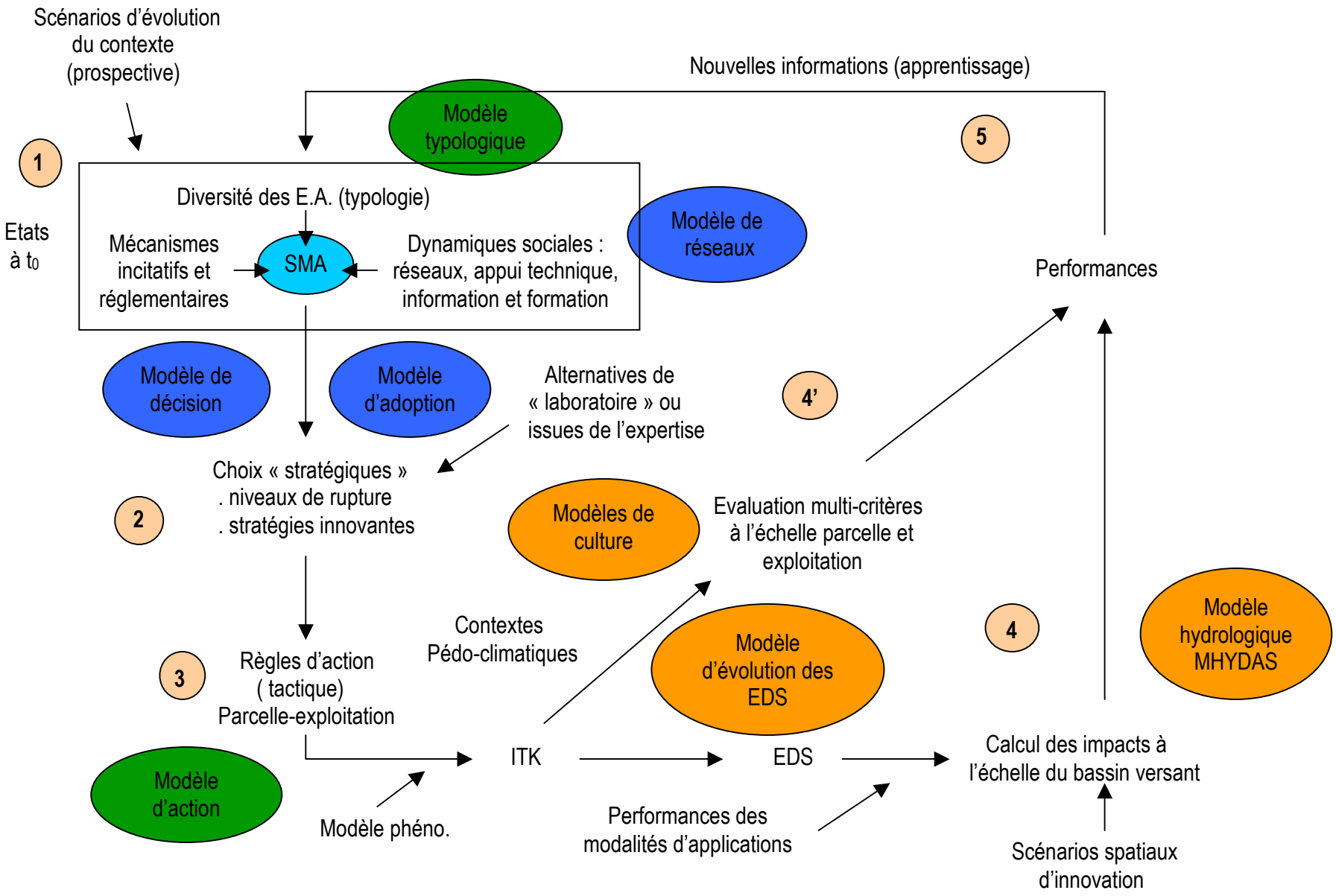

Figure 1. Schéma général de conception/évaluation intégrée de systèmes innovants à l'échelle de bassins versants.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

● Etape 5 : Dans une dernière étape, les performances ainsi évaluées constituent un nouvel ensemble de données informationnelles qui modifient les états du monde (temps t_1). Ces informations associées à une possible évolution du contexte réglementaire et incitatif (prix, politiques publiques…) vont faire évoluer les choix réalisés par les agriculteurs. Dans le cas de la banane, les résultats en terme de performances sont utilisés pour mettre les agriculteurs face à des choix virtuels (puisque les nouveautés ne sont pas forcément connues). L'analyse économétrique des choix individuels est alors retenue comme méthode d'investigation (modèle d'adoption). Dans le cas de la vigne et de la banane, un modèle multi-agents (SMA) permet de prendre en compte la circulation d'informations au sein de réseaux sociaux de proximité. Dans le cas de la vigne, une seconde méthode est proposée : un modèle classique de décision basé sur l'optimisation sous contraintes de ressources (modèle de choix ou modèle de décision).
Les résultats sont présentés dans la logique de cette boucle de conception/évaluation intégrée de systèmes innovants, et organisés autour de quatre questions allant des effets de contexte sur les systèmes actuels à la génération de scénarios innovants jusqu'à l'évaluation de leurs performances et de leur adoptabilité.

Résultats

1. Comment les effets de contexte social et institutionnel conduisent à orienter les choix stratégiques actuels des agriculteurs ?

Analyse des réseaux de dialogue (Annexe 2, Annexe 3)
Dans les bassins versants étudiés, l'information sur les techniques et les pratiques innovantes circule peu entre agriculteurs. Les pôles d'information sont structurés autour du technicien du groupement des producteurs de banane et du technicien d'entreprise d'approvisionnement en produits phytosanitaires chez les viticulteurs. L'analyse des réseaux de dialogues portant sur les stratégies dans un contexte de crise économique révèle des échanges beaucoup plus nombreux. La diversité des solutions adoptées en termes de systèmes de production (diversification, renforcement de la production bananière, agri-tourisme), mais aussi d'organisation spatiale des activités agricoles (échanges de terre), de même que la pluri-appartenance des acteurs à divers réseaux parallèles, indiquent un réseau à initiative dispersée. Par ailleurs, l'analyse spatiale des réseaux de dialogue montre que les configurations spatiales sont propices à des échanges réguliers : axe unique desservant toutes les parcelles par exemple (Houdart et al., 2007a). Cette analyse met ainsi en lumière les blocages et les atouts du groupe social analysé pour une gouvernance locale des problèmes environnementaux.
L'analyse des réseaux de dialogue a été formalisée et représentée dans un modèle multi-agent, le modèle ReseauInnovation (Houdart et al., 2007b). Deux paramètres clefs ont été modifiés au cours des simulations de façon à évaluer leur importance respective et, au final, discuter autour des configurations "idéales" à donner aux réseaux de dialogue : le nombre de liens, mesure de sociabilité, et la force de ces liens, mesure de familiarité. Nous avons observé les effets de ces changements de force et de quantité de liens sur la dynamique des échanges d'informations, de même que sur celle des systèmes de culture innovants. D'une manière générale, il apparaît que plus les liens sont nombreux, plus les échanges d'information sont nombreux, quelle que soit la force de ces liens. En conséquence, la quantité de liens introduit une grande différence dans la mise en œuvre de systèmes de culture innovants. Quant à la force des liens, elle semble introduire, plus qu'une variation des échanges d'information, une différence dans la dynamique de production de l'information. Ce résultat obtenu de simulations permet l'inscription de cette approche dans le débat lancé par Ecology & Society sur l'impact favorable des réseaux sur l'ajustement à des chocs sur les ressources et aux changements environnementaux.

Mécanismes institutionnels (Annexe 4, Annexe 5)
Les innovations institutionnelles en Languedoc-Roussillon et en Guadeloupe sont très semblables, en termes de rationalisation des tâches des administrations, coordination de leur politique, émergence de lieu de concertation. Dans les deux cas, on observe aussi une forte divergence de la hiérarchie des préoccupations entre institutions et producteurs, centrée par exemple en Languedoc-Roussillon sur la restauration du Bon Etat des Nappes d'Eau pour les administrations, et la crise économique qui frappe les exploitations viticoles pour les organisations professionnelles.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Sur les bassins bananiers, l'analyse des réactions des institutions face à la nouvelle donne environnementale fait apparaître la création d'arènes de concertation, avec la mise en place de projets communs mais aussi la révélation de conflits latents, et la stimulation des innovations : recherche de solutions techniques mais aussi création de nouveaux outils territorialisés.
Trois types d'outils ont été distingués : (1) outils coercitifs (par exemple périmètres de protection des captages, interdiction du traitement aérien contre la cercosporiose à moins de 50 m des cours d'eau et des habitations), (2) outils incitatifs (subvention des vitroplants, des analyses nématologiques) et (3) outils pédagogiques (formation, conseil technique). Seule l'interdiction de produits phytosanitaires a des répercussions importantes sur le système de production car de nombreux produits ne sont plus disponibles. Ni la législation sur la protection des captages, ni la police des eaux ne disposent des moyens permettant d'organiser de manière crédible une action contre les pollutions diffuses.
Les outils incitatifs et pédagogiques ont des impacts certains, mais leurs conditions de mobilisation sont hétérogènes selon les types de planteurs. Par ailleurs l'évaluation d'impact des incitations transitant par des processus de contractualisation (CTE, CAD, SDAGE) révèle peu de résultats par rapport aux objectifs affichés. Les blocages à la concrétisation de ces projets sont multiples : cristallisation de conflits entre organisations agricoles, ou entre exploitants et la main d'œuvre salariée, manque d'intégration des agriculteurs à la réflexion, lourdeur administrative, logique descendante laissant peu de place aux initiatives locales, multiplicité et diversité des institutions concernées (Cances et al., 2008).
L'impact du dispositif de formation reste encore limité. Le système d'information à destination des agriculteurs apparaît dense et performant. Les acteurs se disent globalement informés. L'information est cependant peu intégrée aux prises de décision (Roquelaure, 2008).
En Languedoc-Roussillon, l'exploration d'outils économiques non conventionnels adaptés à la caractéristique diffuse de ces pollutions ont été étudiés (Annexe 5). Associant une démarche de négociation à une allocation de "permis à polluer", cette exploration débouche sur l'explicitation de mécanismes révélateurs des efforts de chacun qu'il sera possible d'évaluer en laboratoire et par simulation sur un contexte réel. L'appliquer à un contexte réel a permis d'identifier les paramètres du modèle de décision que mobilise cette démarche, notamment les risques financiers ou techniques dépendant des itinéraires techniques retenus.

2. Quelles méthodes pour générer des systèmes innovants, pour qui et à quelles fins ?

Dans le cas de la banane en Guadeloupe, on cherche à concevoir, *de novo*, des systèmes de culture potentiellement innovants à destination des agriculteurs. On considère que la situation socio-économique récente n'a pas créé de conditions favorables à une émergence, au sein de la sphère professionnelle, de systèmes innovants. Aussi, la démarche mise en œuvre s'inspire des méthodes de prototypage à dire d'experts (Blazy et al., 2009 ; Annexe 6). Dans cette situation, les experts convoqués sont issus du monde de la recherche et du développement agricole. La réalité est mise à contribution pour identifier la diversité des exploitations agricoles actuellement en exercice et construire une typologie qui puisse être proposée aux experts. Cette phase de diagnostic sert également (1) à appréhender le cadre de contraintes et d'opportunités dans lequel s'exerce l'activité agricole bananière de chaque type d'exploitation identifié et (2) à renseigner les paramètres techniques, environnementaux et économiques des modèles qui seront ensuite utilisés pour évaluer les systèmes candidats.
Une typologie est élaborée par application d'outils statistiques multidimensionnels (classification ascendante hiérarchique) à partir de la saisie, sur un échantillon d'exploitations (issu d'une pré-typologie et d'une première stratification de la population étudiée) de trois catégories de variables également représentées (1) les caractéristiques des systèmes de culture bananiers (décrits sur la base des grands choix culturaux et en considérant le système le plus représentatif de l'exploitation), (2) leurs performances et (3) le contexte pédo-climatique et socio-économique dans lequel l'agriculteur conduit l'activité bananière.
Les systèmes de culture potentiellement innovants sont conçus au cours d'un travail séquentiel en 5 étapes réalisé avec un panel d'experts locaux (scientifiques et professionnels) ; il s'agit de :
- préciser les améliorations potentielles pour chaque type de fermes en identifiant leurs points critiques en matière de durabilité (environnementale, sociale ou économique) et ainsi définir les objectifs assignés aux nouveaux systèmes de culture à construire ;

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

- identifier les fonctions biologiques et/ou techniques adéquates que les systèmes innovants devront remplir pour satisfaire ces objectifs ;
- identifier une gamme de prototypes de systèmes de culture susceptibles de remplir les fonctions techniques ou biologiques recherchées ;
- évaluer, pour chaque type de ferme dont on connaît les contraintes, si l'adoption des différents prototypes précédemment établis accroît ou, au contraire, diminue le jeu de contraintes (matrice croisant toutes les contraintes avec tous les prototypes) ;
- mesurer le niveau de compatibilité entre chaque prototype et chaque type de ferme via le calcul d'un indicateur de compatibilité (Tableau 7, Annexe 6).

La typologie a pu être élaborée à partir d'un échantillon de 66 fermes (taux d'échantillonnage de 36%) sélectionnées de manière aléatoire à partir d'une première stratification de la population totale. Les outils de classification ont permis d'identifier 6 types de fermes et des les assortir d'un indicateur de compatibilité avec les prototypes).

Comparée à d'autres méthodes de prototypage réalisées en liens avec des experts, celle qui est développée ici offre l'avantage de permettre une forte prise en compte de la diversité des exploitations agricoles. On génère ainsi des systèmes potentiellement innovants pour une certaine diversité de la population agricole. La faisabilité de la méthode repose toutefois sur l'existence d'un panel d'experts possédant de solides connaissances des systèmes de cultures actuels que l'on cherche à améliorer ainsi que des techniques de cultures alternatives. Bien entendu, ces systèmes candidats demandent ensuite à être évalués *ex ante* sur une base multicritère. Cela est opéré en ayant recours à des modèles biophysiques (SIMBA ; Tixier et al., 2008) et bio-économiques (BANAD , Blazy, 2008).

Dans le cas de la vigne, l'objectif est de pouvoir simuler, au niveau du bassin versant, les impacts hydrologiques de scénarios innovants dans lesquels seraient modifiées la proportion et/ou la répartition spatiale de différentes catégories d'exploitations agricoles. Les résultats de ces travaux sont destinés aux structures collectives responsables de la gestion de la ressource en eau. Les exploitations sont caractérisées par leurs comportements décisionnels pour la mise en œuvre des stratégies et pratiques en lien avec l'usage et les risques d'exportation des pesticides (Annexe 7). La recherche vise à générer des itinéraires techniques (variables selon les années) résultant d'une diversité de comportements techniques d'agriculteurs (plus ou moins vertueux au regard des stratégies et pratiques en question) dans un bassin versant. Ici, les systèmes *a priori* vertueux (au moins une certaine gamme) existent déjà dans la réalité. Ainsi les systèmes innovants (issus des principes de la protection intégrée) sont connus et promus par les organismes de développement et de conseil, ils sont simplement jugés insuffisamment répandus et mis en pratique. La typologie cherche alors à classer les agriculteurs selon l'intensité de mise en œuvre de ces pratiques vertueuses. Pour ce faire, il est nécessaire de clarifier et préciser l'objet innovant lui même. En effet, la protection intégrée est un principe d'action qui se décline concrètement de multiples manières ; il est donc nécessaire de spécifier la gamme de pratiques observables que l'on juge pertinente pour classer les agriculteurs. Les variables à renseigner pour la typologie sont alors très spécifiques ; elles concernent le domaine technique couvert, à savoir les stratégies et pratiques de protection de la vigne et d'entretien du sol (incluant la prise en compte de la diversité spatiale sur ces choix). Ici les variables de structure (contraintes) et de performances ne sont pas utilisées pour la typologie ; ce sont des variables supplémentaires dont on mesure le degré de corrélation avec les variables principales.

Les données de structure des exploitations agricoles sont utilisées pour stratifier l'échantillon étudié. Cet échantillon est réduit (n=20). La classification est réalisée sans utiliser d'outil mathématique statistique. La méthode Bertin (méthode visuelle) est mise à contribution et les catégories sont constituées sur la base des ressemblances de logique d'ensemble (approche systémique) des combinaisons de pratiques (catégorisation à caractère prototypique).

Cette première étape permet (1) d'analyser les relations existantes entre les deux groupes de pratiques (Figure 4, Annexe 7) et (2) de bâtir une première typologie de comportements techniques croisant les deux groupes de pratiques. Ces résultats extrapolés à la zone d'étude permettent d'identifier les combinaisons de comportements techniques existants et leur importance sur la zone (Figure 5, Annexe 7); ce sont ces combinaisons qui sont retenues pour l'écriture des règles d'action[4].

[4] La zone enquêtée ne comportant pas d'exploitation agricole « bio », un travail complémentaire a été réalisé en partenariat avec l'AIVB pour caractériser un modèle d'action « bio » qui pourrait être injecté comme système innovant dans un scénario de changement de pratiques (Annexe 8).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Ensuite la démarche se déroule comme suit :
- pour chaque type identifié, formalisation, à savoir d'experts et à partir des données d'enquêtes, d'un modèle conceptuel représentant le comportement technique « archétypique » de la classe ;
- transformation du modèle conceptuel en modèle décisionnel permettant de générer, en fonction des conditions climatiques, des itinéraires techniques. Le modèle décisionnel repose à la fois sur des règles logiques univoques (si…, alors …), mais également sur des formes de logique floue (tirage aléatoire au sein d'une période probable de réalisation) pour le cas des pratiques non prioritaires et lorsque les indicateurs de décision ne peuvent être modélisés (Cf. point suivant) ;
- identification et exploration des possibilités de prévision des indicateurs utilisés dans les règles de décision ;
- génération des itinéraires techniques par type d'exploitation agricole et par type d'année climatique après transcription en langage informatique et répartition des types dans le bassin versant.

Cette démarche présente l'avantage de permettre, après couplage avec le modèle hydrologique, d'évaluer des scénarios totalement virtuels à l'échelle d'un bassin versant en se basant sur une représentation simplifiée mais réaliste de comportements techniques d'agriculteurs et de leurs évolutions possibles (sous l'effet de nouvelles politiques publiques par exemple). Sa faiblesse tient à la validation des modèles proposés (il est prévu une validation d'ensemble avec le modèle hydrologique sur la base d'une comparaison des teneurs en polluants à la sortie d'un micro bassin versant) et provient également du fait que ne sont explorés ici que des systèmes existants. Des modèles décisionnels virtuels (par exemple issus de travaux de conception de systèmes de culture, Annexe 15) ou provenant d'autres populations d'agriculteurs (par exemple en agriculture biologique, Annexe 8) pourraient contribuer à la construction de nouveaux scénarios.

3. Comment évaluer les performances des systèmes innovants ?

L'évaluation des performances des systèmes de culture existants ou innovants s'est essentiellement appuyée sur un ensemble de modèles biophysiques et bio-économiques permettant de simuler des scénarios d'adoption d'innovations et de produire un ensemble d'indicateurs de performance (productive et environnementale). Ces indicateurs, associés à des indicateurs issus de données de terrain, sont destinés à être agrégés pour réaliser des évaluations multicritères.

Modélisation des performances et des externalités environnementales des systèmes de culture

A l'échelle de la parcelle agricole, l'état d'avancement différent des modèles sol-culture-bioagresseurs pour les systèmes bananiers et viticoles a justifié des investissements différents pour servir l'évaluation des systèmes de culture innovants.

Dans le cas des systèmes bananiers, le modèle Simba (Tixier et al., 2008) simule la dynamique de croissance et de production de cohortes de plants de bananiers, en interaction avec la dynamique de développement et de nuisibilité des populations de nématodes dans le sol (Tixier et al., 2006), elle-même affectée par le calendrier d'application de nématicides (Annexe 9). Le modèle produit par ailleurs un indicateur synthétique d'impact des pesticides sur la qualité des eaux, Rpest (Tixier et al., 2007). La large gamme de systèmes de culture innovants envisagée a justifié des développements dans deux directions : la prise en compte de la fertilisation azotée et de l'introduction de cultures de service associées. L'introduction d'un bilan azoté dans le modèle Simba permet de simuler la dynamique hebdomadaire de la minéralisation des résidus de culture, des prélèvements par la culture et de la lixiviation de l'azote (Dorel et al., 2008). L'introduction de cultures de service s'appuie sur une typologie fonctionnelle basée sur le statut d'hôte des nématodes phytoparasites, la profondeur du système racinaire, la fixation symbiotique de l'azote, la compétition pour les ressources avec le bananier et la longueur du cycle. Le modèle Simba est ainsi doté de nouvelles fonctions permettant de gérer la concurrence pour les ressources (lumière, eau, azote) et la fixation symbiotique de l'azote (Blazy et al., 2009).

Dans le cas des systèmes de culture viticoles, après avoir exploré la possibilité d'utiliser un modèle de culture existant, Stics (Valdés-Gómez et al., 2009), le choix a été fait de faire évoluer un modèle de bilan hydrique relativement simple mais produisant les indicateurs utiles à l'évaluation de systèmes de culture innovants (Annexe 10). En effet, Pellegrino et al. (2006) ont montré que l'évaluation des performances agronomiques (développement végétatif, rendement, qualité des produits) pouvait être basée sur des indicateurs de contrainte hydrique subie par la vigne. Ainsi, des développements originaux ont été introduits dans trois directions : (1) la concurrence pour les ressources hydriques

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

avec des cultures de couverture peut être simulée grâce à l'introduction d'un module de croissance de couverts herbacés (typologie fonctionnelle basée sur la profondeur d'enracinement, la vitesse de croissance et la réponse au stress hydrique) (Celette et al., 2009), (2) en lien avec la problématique de diffusion des pesticides, un module simple de ruissellement a été ajouté au modèle (Gaudin et al., 2009), (3) des corrélations ont été établies entre différentes variables de développement végétatif et la sensibilité de la vigne aux maladies cryptogamiques (Valdés-Gómez et al., 2008).

Modélisation des processus hydrologiques sous l'effet des actions anthropiques

Dans ce domaine, il a été nécessaire d'approfondir la modélisation de plusieurs types de processus, d'évaluer l'impact de scénarios de pratiques culturales à l'échelle du bassin versant élémentaire et de rechercher une méthodologie de généralisation de la démarche d'évaluation des impacts hydrologiques à l'échelle de bassins-ressources.

Approfondissement de processus

Les activités culturales engendrent des modifications de structure des bassins et/ou des modifications de conditions aux limites qu'il convient de prendre en compte. Les deux cas d'étude ont permis de mettre en évidence des processus importants et absents des modélisations hydrologiques courantes :

i) Influence de la redistribution de la pluie par la végétation sur le ruissellement. Dans les parcelles de bananiers, on doit tenir compte de la redistribution locale de la pluie par le feuillage du bananier qui concentre la pluie au pied du pseudo-tronc (processus de *stemflow*). Le *stemflow* augmente localement les quantités de pluie arrivant au sol, favorisant ainsi la genèse de ruissellement au pied du bananier. Sa prise en compte dans une modélisation hydrologique améliore significativement les hydrogrammes simulés à l'exutoire de la parcelle (Charlier et al., 2009b).

ii) Influence du mode d'épandage des pesticides sur la contamination du milieu. L'étude de la distribution des dépôts de pesticides entre le feuillage, le sol et l'air, caractérisée sur les parcelles viticoles, montre l'influence importante des technologies et des réglages (Annexe 12). L'effet du matériel est peu marqué pour les pertes au sol (susceptibles d'êtes entraînés par le ruissellement) et il est important et variable pour les pertes dans l'air. Avec un réglage inadapté des équipements, les pertes au sol peuvent être multipliées par trois et atteindre 40% de la dose appliquée. Dans tous les cas, les pertes au sol sont directement reliées aux stades de développement foliaire de la vigne : elles varient de 30 à 40% lorsque la végétation est peu développée à environ 10% lorsque la végétation est bien développée.

iii) Disponibilité des herbicides à la mobilisation par le ruissellement en fonction de l'historique climatique. Il s'agit d'un verrou majeur actuel des principaux modèles de transfert de pesticides. Une méta-analyse de sept années de chroniques de concentrations des résidus dans le sol et dans les eaux de ruissellement à l'exutoire de parcelles a permis de développer un modèle représentant la rétention croissante des herbicides dans le sol après épandage. Le modèle permet une estimation croissante au cours du temps du coefficient de partage liquide-solide d'un herbicide (Kd) en fonction d'un indicateur d'évolution de l'état hydrique du sol, comme la pluie cumulée depuis l'application de l'herbicide (Louchart et Voltz, 2007).

iv) Variation des états de surface du sol en fonction des stratégies d'entretien du sol et de l'historique climatique. Dans les bassins viticoles, quatre stratégies d'entretien du sol (désherbage chimique total, enherbement naturel maîtrisé par un travail du sol, enherbement naturel maîtrisé par un désherbage chimique et engazonnement) ont été suivies en relation avec les processus de ruissellement/infiltration. Y sont associées différentes trajectoires d'évolution des états de surface des sols en fonction du type d'entretien du sol, des caractéristiques pédologiques des parcelles, des évènements climatiques et des pratiques culturales. Un modèle prédictif d'évolution des états de surface sous l'effet des interventions humaines (travail du sol, désherbage chimique, broyage de l'herbe) est en cours d'élaboration (Pare, 2007).

v) Influence des réseaux de fossés agricoles sur les échanges surface-souterrain. Les fossés ont un rôle déterminant sur la recharge et la contamination de la nappe et sur les écoulements de surface, tant pour la genèse que pour la propagation des crues (Annexe 11). A l'échelle d'un bassin versant, en région méditerranéenne, 50% de la recharge de la nappe est susceptible de s'opérer depuis les fossés pour des événements de pluie et de crue automnaux (Dagès et al., accepté). Elle est rapide et très hétérogène dans l'espace en fonction de la distance aux fossés (Dagès et al., 2008a). A l'échelle des bassins versants bananiers, l'influence des fossés est moindre sur la recharge, mais est également un facteur d'interaction entre ruissellement de surface et écoulement de nappe (Charlier, 2007 ; Charlier et al., 2008). Les travaux de modélisation sur les deux types de bassins ont montré

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

l'importance de la prise en compte explicite des réseaux de fossés pour simuler la propagation des écoulements d'eau et de polluants de l'échelle parcellaire à celle du bassin versant (Charlier, 2007 ; Dagès et al., 2008b).

Impact de différents scénarii de pratiques culturales sur les transferts d'eau et de polluants à l'échelle du bassin versant
Une analyse des données hydrologiques, météorologiques, chimiques et de pratiques culturales a été entreprise sur le bassin de Roujan sur la période 1992-2007 pour déterminer une année hydro-météorologique et des pratiques culturales de référence. La démarche a consisté à identifier les événements pluvieux et à calculer les termes du bilan hydrologique aux échelles de l'événement et de l'année. Sur la base de l'année climatique de référence, une année dite pluvieuse a été définie, notamment pour mesurer l'effet d'une pluviométrie importante lors des périodes critiques de traitement phytosanitaire (printemps) et d'entretien du sol (automne). L'année de référence a permis de caler le modèle de transfert d'eau et de polluants MHYDAS, pour l'évaluation environnementale des scénarios. Plusieurs scénarii de comportements techniques ont été évalués avec MHYDAS, pour chacune des 2 années types (« référence » et « pluvieuse ») : « pseudo-réel » (catégorisation des pratiques observées selon les modèles de comportements identifiés), « vertueux » (pas de désherbage chimique et traitements phytosanitaires raisonnés), «non raisonné » (désherbage chimique total et traitements phytosanitaires systématiques). A travers les exportations annuelles calculées en sortie de bassin versant (Tableau 2), les premiers tests traduisent bien la sensibilité du modèle à la répartition spatio-temporelle des pratiques de désherbage au sein du bassin versant, et à l'occurrence et l'intensité des événements pluvieux par rapport à la réalisation de ces pratiques.

Tableau 2. Exportations annuelles des herbicides diuron et glyphosate (% des quantités totales épandues sur le bassin versant)

Année \ Scénario	Pseudo-réel	Vertueux	Non-raisonné
Référence	0.50%	0.00%	0.56%
Pluvieuse	2.50%	0.00%	3.40%

Généralisation d'une approche de modélisation bio-physique à l'échelle de bassins ressources pour la prise de décision (Annexe 13)
Le modèle MHYDAS permet de quantifier les flux hydrologiques pour un bassin versant décrit à très haute résolution spatiale (pour le bassin versant de Roujan, 1653 paramètres hydrologiques et 1407 paramètres physiographiques) et temporelle. Afin d'utiliser plus largement le modèle au delà du bassin expérimental pilote, nous avons cherché à savoir s'il était possible de construire un modèle dont les entrées sont des variables du niveau du bassin versant et faciles à définir par un examen rapide du paysage. Nous en avons retenu quatre : l'humidité initiale du sol, le pourcentage de surface non agricoles, le pourcentage de surface sur lesquelles est effectué un désherbage chimique intégral, la répartition spatiale des différentes pratiques en fonction de leur éloignement à l'exutoire (Colin et al., 2009). Une base de données de simulations hydrologiques a été constituée en générant 3000 situations contrastées pour un événement de pluie donné. Coefficient de ruissellement et débit de pointe simulés ont ensuite été confrontés aux variables de décision agronomiques montrant plusieurs tendances : l'état d'humidité initial du sol influe très fortement sur les écoulements, dans une limite de 40%, le pourcentage de zones non agricoles influe peu sur les écoulements, en conditions initiales humides le pourcentage de désherbage chimique et sa répartition spatiale expliquent une grande part de la variabilité hydrologique. 20% des simulations ont été utilisées pour apprendre un système de règles floues qui a ensuite été validé sur les 80% restantes. Cependant, elles sont seulement représentatives du contexte dans lequel elles ont été apprises et ne doivent donc pas être utilisées en dehors de celui-ci sans précaution. Ce travail constitue donc une première approche de modélisation simplifiée basée sur une expérimentation numérique (Colin et al., 2009b).

<u>Un modèle de ferme pour l'évaluation des performances économiques</u> (Annexe 14)
L'évaluation des performances économiques associées à l'adoption de systèmes de culture innovants a été approfondie sur les systèmes bananiers. Le modèle bio-écononomique BANAD (Blazy et al., 2009a) comprend quatre composantes : une typologie régionale d'exploitations agricoles (Blazy et al., 2009b), un modèle de culture (SIMBA), un module de gestion des cultures et un module d'intégration

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

des performances de l'ensemble des parcelles. Son paramétrage porte sur les règles de décision du module de gestion, les conditions pédoclimatiques, les caractéristiques de l'exploitation, les prix du marché et les mécanismes d'aide publique. Il simule la dynamique de production, de charge en travail, de revenu net et d'usage des pesticides, en tenant compte de la diversité régionale des exploitations agricoles.
Les systèmes de culture bananiers innovants soumis à l'évaluation incluaient des rotations, des jachères, des associations avec des cultures de service, des variétés hybrides résistantes ou relevaient de l'agriculture biologique. Les performances de ces innovations étaient très variables d'un type d'exploitation à l'autre. Pour certaines innovations et certains types d'exploitation, le modèle BANAD fait apparaître de bonnes performances productives et environnementales à la parcelle, mais une décroissance du revenu et une augmentation de la charge en travail à l'échelle de l'exploitation. Le modèle montre également que l'acceptabilité de ces mêmes innovations dépend des conditions de marché et de soutien.

Des approches d'évaluation multicritère de scénarios innovants (Annexe 15)
L'évaluation comparative et multicritère des performances de systèmes de culture existants et innovants suppose (1) que des indicateurs associés à chaque critère soient identifiés et (2) que les modalités de leur agrégation pour une évaluation intégrée soient explicitées. Dans le cas des systèmes bananiers, l'évaluation a été conduite de manière relativement informelle à partir des sorties du modèle BANAD par comparaison des indicateurs économiques et environnementaux et discussion d'ensemble. L'analyse multicritère a été approfondie dans le cas des systèmes viticoles et ce, à deux échelles.
A l'échelle de l'itinéraire technique mis en œuvre sur une parcelle, Ripoche et al. (2009) ont évalué plusieurs stratégies d'enherbement des vignobles (choix du matériel végétal, surface couverte, mode de conduite) à partir du modèle de bilan hydrique décrit plus haut (Celette et al., 2009). L'analyse multicritère a porté sur trois critères productifs (développement végétatif corrélé à la sensibilité aux maladies cryptogamiques, rendement, qualité de la vendange) et un critère environnemental (ruissellement), avec plusieurs hypothèses de pondération. Une analyse fréquentielle a été conduite sur une série climatique de 30 années, afin d'évaluer la robustesse des itinéraires techniques les plus performants face à la variabilité inter-annuelle du climat. Les itinéraires techniques les plus fréquemment performants dépendent du type de sol et de la pondération entre critères productifs et environnementaux. Si ces derniers sont privilégiés, l'enherbement permanent est le plus performant quel que soit le type de sol. Peu d'itinéraires techniques sont fréquemment performants, en lien avec la forte variabilité inter-annuelle de la pluviométrie (de 330 à 1200 mm sur la période 1975-2003 à Montpellier).
A l'échelle du système de culture mis en œuvre dans une exploitation agricole, Delmotte et al. (2008) ont construit un arbre de décision hiérarchisé permettant de décliner les différentes dimensions environnementale, économique et sociale du développement durable en un ensemble de critères mesurables, de façon qualitative ou quantitative. Ils se sont appuyés pour cela sur la méthode et le logiciel DEXi (Sadok et al., 2008). Une attention particulière a été portée à la prise en compte du contexte de l'exploitation agricole (situation économique, fragilité du milieu, priorités de l'agriculteur) dans le paramétrage du modèle (seuils et pondérations), ce qui est une manière d'intégrer l'adoptabilité des innovations techniques dans la procédure d'évaluation.

4. Qu'est-ce qui conduit à l'adoption des systèmes innovants ?

Cette question a été instruite sur le cas des systèmes bananiers (Annexe 16). Il s'agissait d'évaluer les taux d'adoption probables des systèmes innovants et d'autre part d'identifier leurs conditions d'adoption, c'est-à-dire les facteurs influençant significativement la décision d'adoption, le signe de cette influence et son poids. A la différence des modèles d'adoption construits par optimisation avec programmation linéaire, les modèles économétriques de choix discret permettent d'identifier de manière quantitative des profils de préférences pour l'innovation à partir des comportements d'adoption des agriculteurs. Leur intérêt est multiple :
- la structure du modèle d'adoption permet de modéliser conjointement l'adoption de plusieurs systèmes de culture innovants, et de prendre en compte de nombreux facteurs d'adoption ;

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

– les caractéristiques des innovations et politiques de soutien testées ont été calibrées à partir de simulations avec un modèle bio-économique, permettant ainsi de décrire avec précision les impacts supposés des adoptions d'innovation ;
– le plan d'expérience utilisé permet de tenir compte de la diversité des exploitations puisque les attributs des innovations sont différenciés par type d'exploitation.

L'approche de modélisation repose sur l'analyse économétrique des préférences individuelles des agriculteurs confrontées à des épreuves de choix d'adoption de systèmes de cultures innovants. Cette approche vise à mesurer et analyser la variabilité existant dans les déterminants des choix, en essayant d'utiliser le maximum d'informations sur l'hétérogénéité de ces choix. Pour cela, l'hypothèse est faite que les individus agissent de telle sorte que leur choix est celui qui leur procure la plus grande utilité parmi l'ensemble des alternatives auxquelles ils sont confrontés. Les caractéristiques des innovations et des agriculteurs sont reliées de manière structurelle à l'utilité à travers une fonction ; ce sont les choix observés qui permettent de mesurer les paramètres de cette fonction. Ces modèles comportent un terme d'erreur permettant de mesurer la part non expliquée des déterminants de choix.
Le modèle économétrique d'adoption des systèmes innovants a été estimé à partir d'une enquête réalisée auprès de 607 exploitations bananières de Guadeloupe et de Martinique (Blazy et al., 2009). Le questionnaire d'enquête était composé de deux parties. La première partie visait à demander à l'agriculteur s'il accepterait d'adopter des systèmes de cultures innovants préalablement décrits par leurs caractéristiques techniques et leurs performances, dans le type d'exploitation auquel il appartient. Chaque « épreuve » d'adoption était présentée à l'agriculteur sous la forme d'un contrat agri-environnemental pour lequel il devait dire s'il serait prêt à l'adopter ou non. L'adoption du contrat implique l'adoption d'un nouveau système de culture avec réduction de l'usage de pesticides en l'échange de compensations financières. Chaque agriculteur a ainsi fait l'objet de cinq « épreuves » d'adoption portant sur cinq systèmes innovants qui correspondent aux cinq grand types d'innovations évaluées dans la méthode : jachère avec plante de couverture, nouvelle variété hybride, cultures associées, système intégré impliquant jachère et cultures associées, et un système de culture de banane « biologique ». Les valeurs de performances des systèmes innovants et les caractéristiques des politiques de soutien ont été calibrées à partir des résultats des simulations bioéconomiques (modèle BANAD).
La deuxième partie du questionnaire visait à collecter un ensemble de variables de description de facteurs d'adoption potentiels, identifiés à partir d'une abondante bibliographie sur l'adoption de l'innovation en agriculture. Le modèle binaire Logit Conditionnel comportait cinq catégories de variables : (1) les caractéristiques socio-démographiques des planteurs, leurs objectifs, leurs comportements d'anticipation et leurs attitudes personnelles face à l'innovation et au risque ; (2) les ressources et les contraintes de l'exploitation ; (3) l'environnement physique, social et institutionnel de l'exploitation, (4) les attributs techniques et économiques des systèmes de culture, (5) les attributs des politiques de soutien. Les paramètres du modèle ont été estimés à travers une procédure de maximisation de la vraisemblance à partir des données d'enquête.

Les taux d'adoption varient de 39% pour les systèmes « bio » sans pesticides à 67% pour les cultures de rotations. Le faible taux d'adoption des systèmes « bio » montre la nécessité d'étudier d'autres déterminants de l'adoption en dehors du revenu seul. Le modèle Logit Conditionnel a révélé un taux de prédiction correcte moyen de 70% avec une faible variabilité de ce taux selon les innovations (+/- 3%). L'analyse des paramètres du modèle et de leur significativité a révélé l'existence d'une grande diversité de facteurs d'adoption puisque des paramètres significatifs ont été trouvés dans les 5 catégories de facteurs (Tableau 6). Parmi les attributs des innovations, seul le niveau de réduction de l'usage des pesticides a un effet significatif. Le signe de cet effet montre que les planteurs sont généralement peu enclins à réduire l'usage de pesticides. En ce qui concerne les attributs des politiques de soutien, la durée du contrat et le prix de vente de la banane jouent négativement sur la décision d'adoption. En revanche les effets de ces facteurs peuvent être inversés lorsque ceux-ci sont combinés à des variables d'anticipation. Le niveau de réduction de pesticides apparaît ainsi rédhibitoire pour certains planteurs alors qu'il influence positivement l'adoption pour les planteurs anticipant une interdiction des molécules. Le niveau de subventions joue positivement sur l'adoption, mais uniquement pour les planteurs qui anticipent une suppression des aides à la production. Ces résultats montrent l'importance des effets d'interaction entre anticipations des planteurs et les attributs des politiques et innovations. L'accès à l'information s'est révélé avoir un rôle particulièrement

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

important sur la décision d'adoption (effet marginal de 12% sur le taux d'adoption pour les planteurs ayant accès à du conseil technique sur les pratiques innovantes), tout comme l'accès au crédit (effet marginal de 9% sur la probabilité d'adoption), et l'aversion au changement (effet marginal de -21%).

Discussion

Le projet GeDuQuE était structuré autour de trois grands objectifs :
- identifier et mettre en cohérence dans l'espace et dans le temps des innovations techniques à finalité écologique permettant de réduire les flux de produits phytosanitaires ;
- évaluer les conditions d'adoption, de mise en œuvre et d'adaptation de ces innovations candidates par les exploitations agricoles ;
- identifier et évaluer certaines formes d'organisation collective et de négociation permettant aux différents acteurs de préserver durablement la ressource en eau.

La dynamique collective du projet a renforcé sa cohérence dans le sens d'une problématique d'évaluation intégrée des changements de pratiques agricoles à l'échelle de bassins versants (Figure 1).

<u>Mettre en cohérence dans l'espace et dans le temps des innovations techniques à finalité écologique</u>
Une hypothèse initiale était que l'évolution des systèmes bananiers et viticoles étudiés dans une direction plus conforme au développement durable passait par la mise en cohérence de plusieurs types d'innovations à différentes échelles de temps et d'espace. Cette mise en cohérence a été réalisée dans les deux études de cas aux échelles de la parcelle à l'exploitation agricole et au bassin versant.
Les systèmes bananiers ont servi de support à une démarche originale de couplage d'une typologie d'exploitations agricoles et du prototypage de systèmes de culture sur la base de propositions innovantes issues de la recherche et du développement. On se donnait ainsi de meilleures chances d'identifier des propositions adaptées à la diversité des exploitations agricoles, même si cela ne dispensait pas d'une évaluation ultérieure de l'adoptabilité de ces propositions. Les performances tant économiques qu'environnementales de chaque type d'exploitation agricole doté de propositions techniques pouvaient ensuite être évaluées à l'aide du modèle bioéconomique BANAD. En revanche, ces exploitations agricoles n'étaient pas spatialisées pour permettre l'évaluation des performances à l'échelle de bassins versants. Cet exercice d'évaluation jusqu'au bassin versant a cependant été conduit indépendamment et dans des conditions proches, sur la base d'indicateurs agri-environnementaux (Houdart et al., 2008). Il n'y a pas d'obstacle de principe au couplage entre cette évaluation environnementale et la modélisation bio-économique.
C'est également autour de l'exploitation agricole que s'est faite la mise en cohérence des innovations techniques pour les systèmes viticoles. Dans ce cas, la construction s'est faire autour d'une typologie de modèles décisionnels existants et observés par enquête. Chaque modèle décisionnel met en cohérence des ensembles de pratiques culturales. L'originalité de l'approche tient à la capacité qu'offrent les modèles décisionnels à prédire la dynamique des pratiques et les transferts d'eau et de polluants qui en résultent sur l'ensemble des parcelles d'un bassin versant, grâce au couplage avec le modèle hydrologique MHYDAS. En revanche, l'introduction de pratiques réellement nouvelles, en particulier les itinéraires techniques identifiés par simulation et analyse multicritère, n'a pas été réalisée. La proposition, élaborée sur les systèmes bananiers, de couplage d'une démarche de prototypage de systèmes de culture avec la construction d'une typologie d'exploitations pourrait être reprise.

<u>Evaluer les conditions d'adoption, de mise en œuvre et d'adaptation des innovations</u>
L'introduction de techniques nouvelles (dont on attend un moindre impact environnemental) dans des systèmes de culture et d'exploitation existants ne pouvait être envisagée que sur la base d'une connaissance approfondie de ces systèmes. D'où l'investissement dans des typologies d'exploitations agricoles, ciblées sur l'analyse des pratiques dans les bassins viticoles, et ouvertes aux conditions pédoclimatiques et socio-économiques de l'exploitation agricole dans les bassins bananiers.
L'évaluation de l'adoptabilité des innovations techniques et l'identification de facteurs favorisant l'adoption ont été explicitement abordées sur les systèmes bananiers (Blazy et al., 2009). La démarche s'est appuyée sur une analyse des préférences individuelles d'agriculteurs auxquels est proposé un contrat agri-environnemental proposant l'adoption de systèmes de culture peu dépendants des pesticides contre des compensations financières. Cette expression des préférences présente

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

l'avantage d'intégrer un large ensemble de variables économiques, organisationnelles et sociales telles qu'elles sont appréciées par chaque agriculteur. Elle était ici éclairée par l'évaluation par simulation des performances des innovations proposées. Il y a eu là un couplage original de démarches de modélisation et d'enquête.
Dans le cas des systèmes viticoles et à la différence des systèmes bananiers, les modèles de culture n'intègrent pas encore explicitement (1) la dynamique des maladies et ravageurs en relation avec la stratégie de protection de la culture, et (2) les dégâts sur la culture qui sont associés aux attaques de maladies et ravageurs. Il n'aurait pas été possible de proposer une évaluation complète des performances de stratégies nouvelles, c'est-à-dire différentes de celles observées par enquête. D'une façon générale, l'objectivation de la prise de risque associée à un changement de pratiques est encore difficile et c'est un verrou de recherche.
Enfin, l'adoption de systèmes de culture moins dépendants des pesticides se caractérise par des coûts transitoires importants (formation, apprentissage, ré-installation d'équilibres écologiques) et par la nécessité de produire et faire circuler de l'information au sein de divers collectifs. Ces coûts ne sont pour l'instant considérés qu'à travers l'évaluation qu'en exprime chaque agriculteur dans les enquêtes.

Les formes d'organisation collective et de négociation favorisant la préservation de la ressource en eau
Le rôle favorable ou pas à la diffusion de l'innovation des réseaux de dialogue et des mécanismes institutionnels a été étudié et modélisé. Un modèle multi-agent a permis de discuter de l'influence de la force et de la quantité de lien dans les réseaux de dialogue. Les innovations institutionnelles en Languedoc-Roussillon et en Guadeloupe sont très semblables, en termes de rationalisation des tâches des administrations, coordination de leur politique et émergence de lieu de concertation (Houdart et al., 2009). Dans les deux cas, on observe aussi une forte divergence de la hiérarchie des préoccupations entre les administrations soucieuses de la qualité de l'eau et la profession agricole préoccupée par la crise économique. Cependant, les conséquences d'innovations organisationnelles sur les performances économiques et environnementales des exploitations agricoles restent à évaluer. Le faire supposait un niveau d'intégration des différentes échelles de travail qui n'a pas été atteint sur les trois ans du projet GeDuQuE. Cependant, les éléments de cette démarche sont disponibles. C'est le cas en particulier d'outils économiques (par exemple la négociation de droits à polluer) dont l'impact pourrait être évalué à l'aide de modèles bio-économiques.

Questions de méthode : vers une évaluation intégrée des changements de pratiques agricoles à l'échelle de bassins versants
Le schéma général d'évaluation intégrée proposé (Figure 1) est le résultat de la dynamique collective du projet GeDuQuE. Il s'agit d'une mise en cohérence de l'ensemble des outils mobilisés, et chaque fois que possible mutualisés, sur les deux contextes étudiés. Il va au delà de la structuration initiale du projet. Il a été construit à partir d'un ensemble de travaux parcourant chacun une partie du cycle proposé. La question du chaînage de modèles différents n'a donc été traitée que rarement et localement : SIMBA + BANAD (Blazy, 2008), modèles d'action + MHYDAS (en cours). Le choix a été fait de ne pas alourdir le projet par une activité informatique autour de la construction d'une plate-forme intégrée. Le cadre général d'évaluation intégrée étant maintenant défini, c'est une question qui doit à nouveau être posée pour gérer les difficultés d'interfaçage de modèles de nature différente (processus, pas de temps, échelles d'espace…)[5].
Certains choix méthodologiques font débat. C'est le cas de l'évaluation des impacts environnementaux, basés jusqu'à présent sur des indicateurs agri-environnementaux dans les bassins bananiers (Houdart et al, 2008) et sur un modèle mécaniste (MHYDAS) dans les bassins viticoles. Les développements récents du modèle MHYDAS dans les deux contextes étudiés, apporteront des éléments qui permettront d'instruire le débat. Un terme de ce débat est la question de l'opérationalité des outils de prédiction ou de diagnostic. Le travail sur la simplification des variables d'entrée du modèle MHYDAS dans un bassin versant peu documenté permet d'envisager des compromis entre le caractère mécaniste des modèles et leur opérationalité.

[5] En particulier dans le cadre des projets "Towards a federative research on modeling and simulation platforms" et "Integrative landscape modelling" financés en 2009 par la Fondation Agropolis (RTRA).

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Un partenariat diffus et en construction

Formellement, le projet GeDuQuE n'affichait de partenariats institutionnels que sur les systèmes viticoles. L'IFV et l'AIVB-LR[6] sont en effet des partenaires réguliers des équipes de recherche dans le domaine étudié. Ils ont contribué respectivement à la modélisation biophysique et à la modélisation des pratiques agricoles.

Plusieurs raisons expliquent ce faible nombre de partenariats formels. La priorité était donnée au démarrage du projet à la construction d'une dynamique de recherche. Il fallait atteindre une certaine maturité avant de se confronter à des institutions parties prenantes de la problématique des pesticides en agriculture et souvent en attente de résultats opérationnels rapides. Certains interlocuteurs manquaient, comme par exemple une structure gestionnaire de l'eau dans le bassin viticole étudié (elle est en cours d'émergence).

Cependant, des interactions fortes ont eu lieu avec différentes parties prenantes (institutions publiques et privées en charge de la problématique de la qualité de l'eau, agriculteurs et leurs réseaux et organisations). Objets d'étude du projet, ces parties prenantes étaient de fait associées aux opérations de recherche. Les résultats ont fait l'objet de restitutions devant les agriculteurs sollicités en Guadeloupe en 2007 et 2009. Les résultats des travaux conduits sur les bassins viticoles ont été restitués devant différentes institutions (ministères en charge de l'agriculture et du développement durable, instituts technique, agence de l'eau…) au cours d'un séminaire le 2 avril 2009.

Enfin, différentes équipes se sont engagées dans opérations plus finalisées en marge du projet GeDuQuE : par exemple le plan banane durable (2008-2013) et l'étude Ecophyto R&D (2007-2009).

Conclusion

Eclairage du projet GeDuQuE sur la relation entre agriculture et développement durable

L'association d'agronomes, agro-pédologues, hydrologues, économistes, sociologues, géographes et physiciens visait à articuler des modes de compréhension différents d'une même problématique agricole. Il s'agissait d'une part de pouvoir porter un diagnostic sur l'impact des pratiques agricoles sur l'état du milieu naturel et de saisir comment ces pratiques s'agençaient sur un espace donné en fonction des logiques techniques et des logiques sociales ayant cours dans ce milieu. Il s'agissait par ailleurs d'élaborer des modes d'intervention agronomique originaux qui puissent être proposés aux producteurs et à leurs conseillers comme des alternatives socialement et économiquement tenables, ces alternatives visant à réduire les impacts négatifs du mode de production actuel sur la qualité des eaux.

Une difficulté particulière identifiée au sein du projet tenait à la contradiction suivante. D'une part, les propositions techniques visant à réduire les impacts négatifs des pratiques trouvent leur légitimité dans un accord social, scientifiquement fondé, sur la dangerosité environnementale d'un certain nombre de pratiques. D'autre part, l'injection de ces propositions, pour répondre à une situation de crise, dans un milieu social qui n'a pas participé à leur élaboration, peut amener à une certaine fragilisation de la situation des individus qui le composent. Tout changement amenant pour les agriculteurs à une perte, plus ou moins longue, de maîtrise de leur pratique. Se pose alors la question de l'acceptation de ces techniques dans un milieu social, qu'elles soient imposées (par exemple de manière réglementaire) ou proposées (sous des formes plus ou moins incitatives).

Envisager la durabilité d'une forme de développement nécessite de préserver l'autonomie des acteurs et leur réflexivité. Il s'agit donc non seulement de penser le mode d'intervention en termes techniques, c'est-à-dire en termes de ce qu'il faut faire avec le milieu naturel, mais aussi en termes sociaux, c'est-à-dire de ce qu'il faut faire avec le milieu social pour que les individus puissent engager durablement une série de changements.

Le projet GeDuQuE n'a pas négligé cette difficulté, en particulier à travers deux types d'interventions : (1) un intérêt porté aux modes d'organisations collectifs formels jouant un rôle d'encadrement des agriculteurs et aux modes informels constitués des réseaux des dialogues entretenus entre professionnels, (2) un travail explicite sur l'adoptabilité des innovations techniques proposées qui intègre les préférences des agriculteurs dans la démarche de modélisation.

Il reste que, si la modélisation bio-économique des exploitations bananières a permis d'évaluer la viabilité économique de chaque type d'exploitation dans différents scénarios de changements de

[6] Institut Français de la Vigne et du Vin, et Association Interprofessionnelle des Vins Biologiques du Languedoc-Roussillon

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

pratiques, le projet GeDuQuE n'a pas été jusqu'à intégrer des analyses et simuler des changements dans les territoires étudiés en termes d'évolution (y compris de disparition) des différents types d'exploitations agricoles (Bonin et Cattan, 2009). C'est pourtant une donnée importante de l'appréciation du caractère durable du développement associé à des changements de pratiques et une donnée importante pour motiver les changements.

Réflexivité sur les pratiques de recherche

La collaboration au sein d'un projet ne peut être globale : elle se fait de place en place entre des disciplines ayant une certaine proximité. On constate que l'interrogation sur les pratiques agricoles portée par les agronomes est devenue centrale, ces pratiques engageant une compréhension du milieu naturel et une connaissance des logiques qui guident les agriculteurs. La collaboration a porté principalement sur la façon dont les éléments produits par une discipline ou un groupe de disciplines (WP) peuvent être intégrés comme base du travail d'un autre groupe. Cela est vrai par exemple des interactions entre modèles biophysiques (hydrologiques, agronomiques) et modèles d'action ou économiques. Ces articulations ont pris des formes différentes sur les deux cas d'étude considérés. C'était inévitable étant donnés les acquis différents des collectifs de recherche correspondants et la faible durée du projet (la construction de convergences méthodologiques prend souvent plus de temps au sein d'une unité de recherche). C'est surtout autour d'une vision partagée d'une démarche d'évaluation intégrée que s'est progressivement élaborée une convergence tout au long du projet.

Il y a eu malgré tout des outils réellement partagés. C'est le cas notamment, sur les bassins viticoles, du modèle hydrologique MHYDAS, vers lequel ont convergé un certain nombre de données et de résultats provenant de différentes tâches des 3 WP. Ce désir de convergence a amené, par exemple, les agronomes à orienter dans un certain sens l'analyse des pratiques agricoles ; ils ne l'auraient pas fait de la même manière sans cet objectif collectif. Il ne s'agit pas seulement de fournir des entrées au modèle, il faut aussi qu'il intègre dans son élaboration la manière dont les différentes disciplines qui le nourrissent sont capables de rendre compte de leurs résultats (précision temporelle, échelle spatiale…). Il en est de même, sur les bassins bananiers et viticoles, du modèle couplant SMA et réseaux sociaux. L'intérêt que les uns et les autres ont fini par voir apparaître dans ce type de représentations (après de nombreuses phases d'incompréhension et de discussions) les a amenés à approfondir le traitement de certaines données pour étudier, plus avant, ce que celles-ci peuvent apporter à la construction du modèle.

Les obstacles à l'intégration des connaissances reposent principalement sur la capacité (et peut être la volonté) des différents individus et équipes à mener conjointement le travail de croisement des registres d'explications. En effet, accomplir un tel travail nécessite une certaine familiarisation avec des cadres interprétatifs des autres disciplines, ce qui ne va pas de soi et demande un certain temps d'investissement. Ces temps de socialisation sont certainement ce qui fait le plus défaut ; ils sont nécessairement longs, ce qui est à certains égards contradictoire avec le caractère planifié et limité dans le temps d'un projet sur appel d'offres. Il n'empêche que le projet GeDuQuE aura été un temps fort de construction d'un collectif de recherche qui assurera sa pérennité à travers d'autres initiatives, et en interaction avec d'autres collectifs dans le même domaine.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Références des participants au projet[7]

Biarnès A. , Rio P., Hocheux A. 2004. Analysing the determinants of spatial distribution of weed contol practices in a Languedoc vineyard catchment. Agronomie, 24, 187-191.

Blazy, J-M., 2008. Evaluation ex ante de systèmes de culture innovants par modélisation agronomique et économique : de la conception à l'adoption. Cas des systèmes de culture bananiers de Guadeloupe. Thèse de doctorat, Supagro Montpellier. 192 pages.

Blazy J.-M., Ozier-Lafontaine H., Doré T., Thomas A., Wery J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. Agricultural Systems, doi:10.1016/j.agsy.2009.02.004.

Blazy, J.-M., Dorel M., Salmon, F., Ozier-Lafontaine, H., Wery, J., Tixier, P., 2009. Model-based assessment of technological innovation in banana cropping systems contextualized by farm types in Guadeloupe. *European Journal of Agronomy*, doi:10.1016/j.eja.2009.02.001.

Bonin M., Cattan P., 2009. Dynamique des exploitations agricoles dans un contexte de crise. Le cas de la production bananière en Guadeloupe. Colloque international « Sociétés en transition et développement local en zones difficiles, DELZOD », Jerba, 22-24 avril 2009, pp.239-246.

Bonin M., Lardon S. 2002. Recomposition des exploitations agricoles et diversification des pratiques de gestion de l'espace. In : Ed. André Torre. Le local à l'épreuve de l'économie spatiale : agriculture, environnement, espaces ruraux . Paris : INRA, p. 131-148.

Cances A.L., Temple L., Houdart M., 2008. Innovations institutionnelles pour la diminution de l'utilisation de pesticides en bananeraie en vue de protéger la ressource en eau. Courrier de l'environnement de l'Inra, 56, 97-104.

Cattan , P., Cabidoche, Y.-M., Lacas , J.-G., Voltz , M. 2006. Impact of tillage and mulching on runoff occurrence over high infiltrabilty andosols under banana cropping systems. Soil and Tillage Research, 86, 38-51.

Celette F., Wery J., Chantelot E., Celette J., Gary C., 2005. Belowground interactions in a vine (*Vitis vinifera* L.) - tall fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) intercropping system: water relations and growth. Plant and Soil, 276, 205-217.

Celette F., Ripoche A., Gary C., 2009. A simple model to represent water partitioning in a crop association: the example of an intercropped vineyard. Soumis à European Journal of Agronomy.

Chahinian N., 2004. Paramétrisation multi-critère et multi-échelle d'un modèle hydrologique spatialisé de crue en milieu agricole. Thèse Doctorat Agro.M Montpellier.

Charlier J.B., 2007. Fonctionnement et modélisation hydrologique d'un petit bassin versant cultivé en milieu volcanique tropical. Thèse de l'Université Montpellier II ; Ecole Doctorale SIBAGHE, laboratoire d'accueil CIRAD-FLHOR/ Guadeloupe, 246 p.

Charlier, J.B., Cattan, P., Moussa, R. and Voltz, M., 2008. Hydrological behaviour and modelling of a volcanic tropical cultivated catchment. Hydrological Processes, 22, 4355-4370.

Charlier JB, Moussa R, Cattan P, Voltz M., 2009. Accounting for local rainfall partitioning improve runoff modelling at the plot scale: a study case of rainfall redistribution by plant canopy. En preparation.

Colin F., Moussa R. , Louchart X., Using a numerical tracer experiment to assess the sensitivity of a distributed hydrological model to the spatial arrangement of parameters: Case of the impact of vineyard weed control practices on surface water transfer . Soumis à Journal of Hydrology.

Colin F., Guillaume S., Tisseyre B., Defining agricultural management variables at catchment scale to reduce hydrological impacts? A Mediterranean vineyard study using numerical experiment. En préparation pour Agricultural Water Management

Compagnone C., 2004, Agriculture raisonnée et dynamique de changement en viticulture bourguignonne, in Conein B. , Ferrand A., Lazega E. (dir), Connaissances et relations sociales, Recherches Sociologiques, 2004/3, p 103-121.

Dagès C. 2006. Analyse et modélisation de l'influence de réseaux de fossés sur les échanges surface-souterrain en bassin versant méditerranéen. Thèse de doctorat, *Université Montpellier II.*

Dages C., Voltz M., Lacas J.G., Huttel O., Negro S., Louchart X., 2008. An experimental study of water table recharge by seepage losses from a ditch with intermittent flow. Hydrological Processes, 22, 3555-3563.

[7] cf. la liste complète des publications du projet dans le rapport factuel

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Dages C.,Voltz M., Ackerer P., 2008. Parameterization and evaluation of a threedimensional modelling approach to water table recharge from seepage losses in a ditch. Journal of Hydrology 348, 350–362.

Delmotte S., Ripoche A., Gary C., 2008. A multiple criteria tool for on farm ex ante evaluation of the sustainability of innovative cropping systems with low pesticide use in viticulture. In: P. Ricci (ed.) Proceedings of the ENDURE International Conference 2008, Diversifying crop protection, 12-15 October 2008, La Grande-Motte, France. (http://www.endure-network.eu/content/download/4511/37315/file/Full%20text%20O.52.pdf).

Dorel, M., Achard, R., Tixier, P., 2008. SIMBA-N: modeling nitrogen dynamics in banana populations in wet tropical climate. Application to fertilization management in the Caribbean. European Journal of Agronomy, 29, 38-45.

Gaudin R., Celette F., Gary C., Wery J., 2009. Off season soil refilling and runoff-rainfall relationship in a Mediterranean vineyard. Soumis à Plant and Soil.

Houdart M., Bonin M., Saudubray F. 2004. Typologie de fonctionnement spatial d'exploitations agricoles : application au bassin versant de la rivière Capot en Martinique. In : Lardon Sylvie (ed.), Dobremez Laurent (ed.), Josien Etienne (ed.). Analyse de la différenciation spatiale de la multifonctionnalité de l'agriculture. Antony : CEMAGREF, p. 57-69.

Houdart M. 2005. Organisation spatiale des activités agricoles et pollution des eaux par les pesticides. Modélisation appliquée au bassin-versant de la Capot, Martinique. Thèse de doctorat en Géographie de l'Université des Antilles et de la Guyane, Fort de France, Martinique.

Houdart M., Bonin M., Compagnone C., 2007a. Organisation sociale et organisation spatiale : évaluer la capacité d'un groupe à l'innovation agro-écologique. Etude de cas en zone bananière, Guadeloupe. In: Joint congress ASRDLF 44th Congress / ERSA 47th Congress, Paris/Cergy-Pontoise, August 29th - September 2nd 2007, 10 p.

Houdart M., Bonin M., Bousquet F. et Rio P., 2007b. Un modèle multi-agents pour évaluer le rôle des réseaux dialogiques sur la dynamique de l'innovation en agriculture. In: F. Amblard (ed.) ESSA'07 the 4th Conference of the European Social Simulation Association, Toulouse, France, September 10th-14th, 2007, 563-579 (http://www.irit.fr/essa2007).

Houdart, M., Tixier, P., Lassoudière, A., Saudubray, F., 2008. Assessing pesticide pollution risk: from field to watershed. Agronomy for Sustainable Development, 29, 321-327.

Lacas, J.G., Voltz, M., Gouy, V., Carluer, N., Gril, J.J. 2005. Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review. Agronomy for Sustainable Development 25, Pages: 253-266 .

Louchart, X., Voltz, M., Andrieux, P. & Moussa, R. 2001. Herbicide transport to surface waters at field and watershed scales in a Mediterranean vineyard area. Journal of Environmental Quality, 30, 982-991.

Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2008. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. Agronomy for Sustainable Development. DOI: 10.1051/agro:2007057: 20 p.

Moussa R., Voltz M, Andrieux P. 2001. Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events. Hydrological Processes, 16, 393-412.

Paré N., 2007. Etude de la variabilité et de la dynamique des états de surface des sols viticoles méditerranéens. Mémoire d'Ingénieur Agronome AgroParisTech, UMR LISAH Montpellier, 90 pages.

Rio, P. ; Causeret, F. ; Andrieux, P. ; Dejean, C. ; Frot, E. ; Louchart, X. 2004, Choix de pratique culturale en présence d'incitations à la réduction des émissions d'herbicides : une simulation en milieu viticole méditerranéen, in : Monestiez, P., Lardon, S., Seguin, B. - Organisation spatiale des activités agricole et processus environnementaux, 357 p. - Paris : INRA Editions, pp 65-78.

Ripoche A., Celette F., Cinna J.P., Gary C., 2009. Design of intercrop management plans to fulfil production and environmental objectives in vineyards. European Journal of Agronomy, doi:10.1016/j.eja.2009.05.005.

Roquelaure C., 2008. Impact des outils de formation et d'information sur les changements techniques pour diminuer l'utilisation des pesticides en Guadeloupe. Master 2 d'Information et Ingénierie Economique et Financière des Projets de l'Université de Montpellier 1, 98 p.

Tixier P., 2004. Conception assistée par modèle de systèmes de culture durables : Application aux systèmes bananiers de Guadeloupe. Thèse Doctorat Agro.M Montpellier.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Tixier P., Risède J.-M., Dorel M., Malézieux E., 2006. Modelling population dynamics of banana plant-parasitic nematodes: A contribution to the design of sustainable cropping systems, Ecological Modelling, 198, 321-331.

Tixier P., Malezieux E., Dorel. M., Bockstaller C., Girardin P., 2007. Rpest - an indicator linked to a crop model to assess the dynamics of the risk of pesticide water pollution. Application to banana-based cropping systems. European Journal of Agronomy, 26, 71-81.

Tixier, P., Malézieux, E., Dorel, M., Wery, J., 2008. SIMBA: a comprehensive model for evaluation and prototyping of banana-based cropping systems. Agricultural Systems, 97, 139-150.

Valdés-Gómez H., Celette F., García de Cortazar-Atauri I., Jara F., Ortega-Farías S., Gary C., 2009. Modelling soil water content and grapevine growth and development with the STICS crop-soil model under two different water management strategies. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 43, sous presse.

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, 27, 1174-1186.

Voltz, M., Louchart, X. 2001. Les facteurs-clefs de transfert des produits phytosanitaires vers les eaux de surface. Ingénieries EAT, 45-54.

Voltz M., Louchart, X., Andrieux, P, Lennartz, B., 2003. Processes of pesticide dissipation and water transport in a Mediterranean farmed catchment. Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions IAHS Publ. no. 278 , 422-428

Autres références

Braden J.B., Segerson K. 1993. Information Problems in the Design of Nonpoint Pollution. In C.S. Russell and J.F. Shogren, eds., Theory, Modeling and Experience in the Management of Nonpoint-Source Pollution. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

Cordier M.O., Masson V., Aurousseau P., Gascuel-Odoux C., Tortrat F., Falchier M., Heddadj D., Lebouille L., Garcia F., Charnomordic B., 2004. Modélisation du transfert de pesticides dans un bassin versant en vue de la construction d'un outil d'aide à la décision pour la maîtrise de la qualité des eaux. Application au bassin versant du Frémeur (Morbihan) BV Futur - Colloque Interrégional - Savoir et Savoir faire sur les bassins versants. Pollution de l'eau et dynamique de restauration de sa qualité en milieur rural. 20, 21 et 22 avril 2004, Vannes. p.239-240

Fernandez-Cornejo J., 1998. Environmental and economc consequences of technology adoption : IPM in viticulture. Agricultural economics, 18, 145-155.

Joannon A., 2004. Coordination spatiale des systèmes de culture pour la maîtrise de processus hydrologiques. Cas du ruissellement érosif dans les bassins versants agricoles du Pays de Caux, Haute Normandie, Thèse Doctorat INAPG Paris.

Leenhardt D., Lemaire P., 2002. Estimating the spatial and temporal distribution of sowing dates for regional water management. Agricultural Water Management, 55, 37-52

Parker P., Letcher R., Jakeman A., Beck M.B., Harris G., Argent R.M., Hare M., Pahl-Wostl C., Voinov A., Janssen M., Sullivan P., Scoccimarro M., Friend A., Sonnenshein M., Baker D., Matejicek L., Odulaja D., Deadman P., Lim K., Larocque G., Tarikhi P., Fletcher C., Put A., Maxwell T., Charles A., Breeze H., Nakatani N., Mudgal S., Naito W., Osidele O., Eriksson I., Kautsky U., Kautsky E., Naeslund B., Kumblad L., Park R., Maltagliati S., Girardin P., Rizzoli A.E., Mauriello D., Hoch R., Pelletier D., Reilly J., Olafsdottir R., Bin S., 2002. Progress in integrated assessment and modelling. Environmental Modelling Software 17, 209–217.

Pellegrino A., E. Gozé, E. Lebon, J. Wery, 2006. A model-based diagnosis tool to evaluate the water stress experienced by grapevine in a network of farmer's fields. European Journal of Agronomy 25, 49-59.

Sadok W., Angevin F., Bergez J.E., Bockstaller C., Colomb B., Guichard L., Reau R., Doré T., 2008. Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: review of the implications for using multi-criteria decision aid methods. Agronomy for Sustainable Development 28, 163–174.

Taylor M.A., Sohngen B., Randall A., and Pushkarskay A, 2004, Group Contracts for Voluntary Nonpoint Source Pollution Reductions: Evidence from Experimental Auctions, American Journal of Agricultural Economics, 86, 1196.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Turpin N., Bontemps et G. Rotillon, 2004. Lutte contre la pollution diffuse sur un bassin d'élevage : comparaison d'instruments de régulation en présence d'asymétrie d'information, Cahiers d'Economie et de Sociologie Rurales, 72, 5-31.

van Ittersum MK, Ewert F., Heckelei T., Wery J., Alkan Olsson J., Andersen E., Bezlepkina I., Brouwer F., Donatelli M., Flichman G., X Olsson L., X Rizzoli A.E., van der Wal T., Wien J.E., Wolf J., 2008. Integrated assessment of agricultural systems – A component-based framework for the European Union (SEAMLESS). Agricultural Systems 96, 150–165.

Vereijken P., 1989. Experimental systems of integrated and organic wheat production. Agricultural Systems, 30, 187-197.

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref

Annexes

Annexe 1. How to design technical and organizational innovations to promote sustainable development in catchments with intensive use of pesticides (Gary et al., 2009).
Annexe 2. Un modèle multi-agents pour évaluer le rôle des réseaux dialogiques sur la dynamique de l'innovation en agriculture (Houdart et al., 2007).
Annexe 3. La mise en oeuvre des pratiques respectueuses de l'environnement en viticulture. Approche sociologique des pratiques des viticulteurs du bassin versant de la Peyne (Valdivieso et Compagnone, 2008).
Annexe 4. Innovations institutionnelles pour la diminution de l'utilisation de pesticides en bananeraie en vue de protéger la ressource en eau (Cances et al., 2008).
Annexe 5. Negotiating the initial permits allocation as a revelation mechanism in nonpoint source pollution (Ali et Rio, 2007)
Annexe 6. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe (Blazy et al., 2009)
Annexe 7. Stratégies d'entretien du sol et de protection phytosanitaire dans la vallée de la Peyne (Barbier et al., 2009).
Annexe 8. Impact des pratiques culturales de la viticulture biologique par rapport au le risque de ruissellement polluant en zone de vins de pays – vins de table (Constant et Barbier, 2009)
Annexe 9. SIMBA, a model for designing sustainable banana-based cropping systems (Tixier et al., 2008).
Annexe 10. Validation d'un modèle de bilan hydrique en vigne enherbée (Delpuech et al., 2009)
Annexe 11. Parameterization and evaluation of a threedimensional modelling approach to water table recharge from seepage losses in a ditch (Dages et al., 2008)
Annexe 12. Une méthodologie pour évaluer les pertes de pesticides vers l'environnement pendant les pulvérisations viticoles (Sinfort et al., 2009)
Annexe 13. Defining agricultural management variables at catchment scale to reduce hydrological impacts. A Mediterranean vineyard study using numerical experiment (Colin et al., 2009)
Annexe 14. BANAD: a dynamic bio-economic farm model for ex ante assessment of the impacts of innovation adoption. Application to banana systems in Guadeloupe (Blazy et al., 2009)
Annexe 15. Design of intercrop management plans to fulfil production and environmental objectives in vineyards (Ripoche et al., 2009)
Annexe 16. An ex ante adoption model of low input innovations applied to banana growers in the French West Indies (Blazy et al., 2009)

CemOA : archive ouverte d'Irstea / Cemagref