Innovations agronomiques (2007) 1, 3-14

La recherche en protection intégrée des cultures à l'INRA

Défis d'une approche systémique : modéliser, expérimenter, innover, évaluer, collaborer

F. Houllier
directeur scientifique Plante et produits du végétal

INRA, 147 rue de l'Université, 75007 Paris

Intégration des connaissances : une demande croissante, en réponse aux évolutions globales de l'agriculture et de son environnement

Les concepts de « lutte intégrée », de « protection intégrée des cultures »[1] et de « production intégrée »[2] ne sont certes pas radicalement nouveaux (OILB, 1977), mais leur mise en œuvre reste limitée en Europe, notamment en France, sauf pour des cultures à haute valeur ajoutée (arboriculture fruitière, viticulture, cultures protégées sous serre) (Aubertot *et al*. 2006, pp. 24, 26). Surtout, le besoin d'intégration qu'ils expriment, renvoie très directement aux évolutions contemporaines de l'agriculture, des conditions environnementales, économiques et sociales dans lesquelles cette activité est exercée, et des buts et objectifs qu'elle s'assigne ou qui lui sont donnés par la société. Plusieurs mouvements profonds amplifient ainsi cette demande d'intégration :

- la diversification des « fonctions » de l'agriculture amène à prendre en compte non seulement la production de biens alimentaires et non alimentaires (fibres et matériaux, chimie verte, bioénergies), mais aussi la production de services, notamment de services environnementaux, et la manière dont elle contribue à la gestion de l'espace rural ou dont elle interagit avec d'autres activités humaines ;
- simultanément, la prise de conscience des effets de l'agriculture sur l'environnement conduit à considérer ses impacts sur la biodiversité et sur le fonctionnement biogéochimique des écosystèmes, à court et à long terme, aussi bien qu'à différentes échelles spatiales, depuis la parcelle jusqu'au paysage ou à la biosphère ;
- par ailleurs, certaines difficultés liées à la mise en œuvre des méthodes chimiques de protection des cultures (par exemple, l'apparition de résistances aux pesticides) renforcent ce besoin d'intégration spatiale et temporelle ; elles ne peuvent en effet être levées qu'en envisageant de combiner différentes méthodes de prévention et de lutte (assolement et succession des cultures, aménagements paysagers, lutte biologique, chimique, génétique et/ou physique) ;
- en retour, les évolutions de l'environnement — par exemple, le changement climatique, les modifications de l'usage des terres ou l'accroissement des échanges et transferts d'organismes vivants —, conjuguées avec celles des pratiques agricoles et des attentes des citoyens et consommateurs en matière de sécurité alimentaire, induisent de nouvelles questions en matière de protection des cultures ;

---

[1] "Protection intégrée : Système de lutte contre les organismes nuisibles qui utilise un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois économiques, écologiques et toxicologiques, en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance " (OILB/SROP, 1973, cité par Aubertot *et al*., 2006).

[2] "Production intégrée : système agricole de production d'aliments et des autres produits de haute qualité qui utilise des ressources et des mécanismes de régulation naturels pour remplacer des apports dommageables à l'environnement et qui assure à long terme une agriculture viable" (OILB/SROP, 1993, cité par Aubertot *et al.,* 2006).

- dans le même temps, la remise en question des modèles de production hérités de la phase de modernisation agricole de la deuxième moitié du 20ème siècle amène à reconsidérer les formes d'innovation qui y ont été associées, aussi bien sous l'angle de leurs impacts environnementaux et sanitaires que sous celui de leurs conséquences sociales et économiques.

Ces évolutions, dont les dimensions sont tout autant économiques, sociales et techniques qu'environnementales, s'inscrivent plus largement dans le contexte de l'émergence de la notion de développement durable et des questionnements qui en découlent pour l'agriculture (Boiffin *et al*., 2004). Elles appellent une multiplicité de formes d'intégration qui se déclinent aussi bien dans le registre de la recherche que dans ceux de l'innovation, de l'action ou de l'élaboration des politiques publiques :

- elles supposent la prise en compte explicite des productions et services fournis par l'agriculture, ainsi que de l'ensemble de ses externalités ;
- elles nécessitent de considérer la diversité des objets et phénomènes naturels concernés (par exemple la biodiversité) aussi bien que celle des acteurs ;
- elles requièrent l'intégration spatiale et temporelle, au sens mathématique du terme et à des échelles variées, des processus, physico-chimiques, biologiques, techniques, sociaux et économiques ;
- elles nécessitent d'articuler et combiner diverses techniques au sein de systèmes de culture conçus comme de véritables stratégies de protection ou de production ;
- elles motivent l'implication, non seulement des acteurs directs mais aussi, de façon croissante, des autres parties prenantes, dans les processus d'innovation et de conception des systèmes de culture et de production.

Approches systémiques : un développement nécessaire en réponse à ces demandes d'intégration

Les besoins d'intégration qui viennent d'être présentés, appellent de fait à un renforcement vigoureux des approches systémiques. Dans le domaine de la protection intégrée des cultures, la recherche est ainsi interpellée sous différents angles :

- ***la définition et la représentation même des phénomènes et des systèmes étudiés*** : quelles sont leurs composantes internes et jusqu'à quel niveau de finesse est-il nécessaire d'aller ? quel est leur environnement ? quelles sont les variables d'entrée et de sortie considérées ? comment s'assurer que l'on ferme bien les processus étudiés, par exemple que l'on n'omet pas des volets importants des cycles biogéochimiques dans les analyses de cycle de vie ? quelles grandeurs et quels indicateurs peuvent-ils être observés, mesurés ou calculés ? quelles sont les commandes disponibles pour piloter ces systèmes ?
- ***la nature des connaissances recherchées*** : sans abandonner ni les approches génétiques et biotechnologiques et les innovations de rupture qui peuvent en dériver, ni les recherches analytiques qui sont indispensables pour progresser dans la compréhension et la maîtrise de mécanismes particuliers (par exemple, les mécanismes moléculaires et cellulaires des interactions plantes – bioagresseurs qui sont une clé pour avancer dans le domaine de la lutte génétique), comment choisir les mécanismes et les cibles dont l'étude doit être privilégiée ? comment intégrer les résultats ainsi obtenus dans des approches systémiques plus larges ? par exemple, comment passer de démarches segmentées, focalisées sur une culture et un bioagresseur particuliers, à des approches qui considère des grandes classes de situations, par exemple des profils de bioagresseurs définis par leurs traits d'histoire de vie ?

- ***les processus de production des connaissances*** : sans renoncer aux principes de la démarche expérimentale pour les recherches analytiques, comment développer aux échelles de la parcelle, de l'exploitation et du paysage, la modélisation couplée du fonctionnement des cultures, de la dynamique des populations et communautés de bioagresseurs ? comment y inclure les différents actes techniques associés aux diverses formes de lutte contre les bioagresseurs et représenter les stratégies qui président au choix des systèmes de culture et à la prise de décision ? quels nouveaux dispositifs expérimentaux, ou d'observation, pluriannuels et à l'échelle du paysage, faut-il élaborer pour tester et caler ces modèles ? quels dispositifs et réseaux faut-il mettre en place pour recueillir et exploiter les données requises pour aborder la grande diversité des situations ? comment marier des approches déterministes et stochastiques pour inclure des notions d'incertitude et de risques dans les modèles ?
- ***le spectre de disciplines mobilisées et la manière de les faire travailler ensemble*** : comment combiner les approfondissements disciplinaires et technologiques indispensables (en biologie des organismes et des populations, en génétique [des plantes cultivées, de leurs bioagresseurs et des adventices], en biotechnologie, en écologie des communautés et des paysages, en agronomie et en épidémiologie, *etc.*) et, simultanément, organiser les interactions entre ces disciplines biologiques et biotechniques et les disciplines socio-économiques ?
- ***les processus liés à l'innovation*** (conception, évaluation, diffusion, adoption, transformation) : à quel stade, et sous quelles formes, impliquer les parties prenantes (équipes de recherche, centres techniques, organismes de développement, producteurs, associations consommateurs ou de production de la nature) ? quelles conséquences pour les modèles, pour les dispositifs d'observation et d'expérimentation ? comment intégrer des connaissances plus ou moins expertes lorsque — et c'est souvent le cas — des connaissances scientifiques certifiées font défaut ou que les modèles sont incomplets.

Ce développement des approches systémiques, dont la protection intégrée est un cas particulier, n'exclut ni un approfondissement analytique des connaissances sur des mécanismes biophysiques, écologiques, agronomiques ou socio-économiques particuliers, ni l'intérêt de poursuivre les recherches en biotechnologie. Il suppose des investissements coordonnés dans différentes directions : la modélisation et la simulation ; l'observation et l'expérimentation ; le développement de méthodes multi-critères, multi-échelles et multi-acteurs d'évaluation des stratégies de protection des cultures ou, plus généralement, des systèmes de culture. Il nécessite aussi de se placer dans le cadre adaptatif d'un processus continu et itératif d'innovation et d'évaluation des performances et des impacts des innovations (Messéan *et al*., 2007).

Les recherches sur la protection intégrée menées par l'INRA : des actions déjà réalisées aux projets qui se mettent en place

L'évolution des recherches de l'INRA dans le domaine de la protection intégrée des cultures peut être envisagée sous plusieurs angles complémentaires : les grands programmes et projets conduits au cours des dernières années, qui se mettent en place ou qui sont envisagés ; le volume et la nature de la production scientifique et technique dans ce domaine ; l'organisation interne du dispositif et les partenariats noués aux plans national et européen.

Début des années 2000 : les actions transversales PIC et PFI

Entre 2000 et 2004, l'INRA a mené deux actions transversales de grande ampleur dans ce domaine. La première a porté sur la protection intégrée des cultures au sens strict (PIC : voir encadré 1). Elle a traité de cultures annuelles et pérennes soumises à diverses formes d'agression biologique : des plantes adventices, des insectes ravageurs et des maladies d'origine fongique ou bactérienne. La seconde a abordé la production fruitière intégrée (PFI : voir encadré 2) : plus restreinte dans son objet,

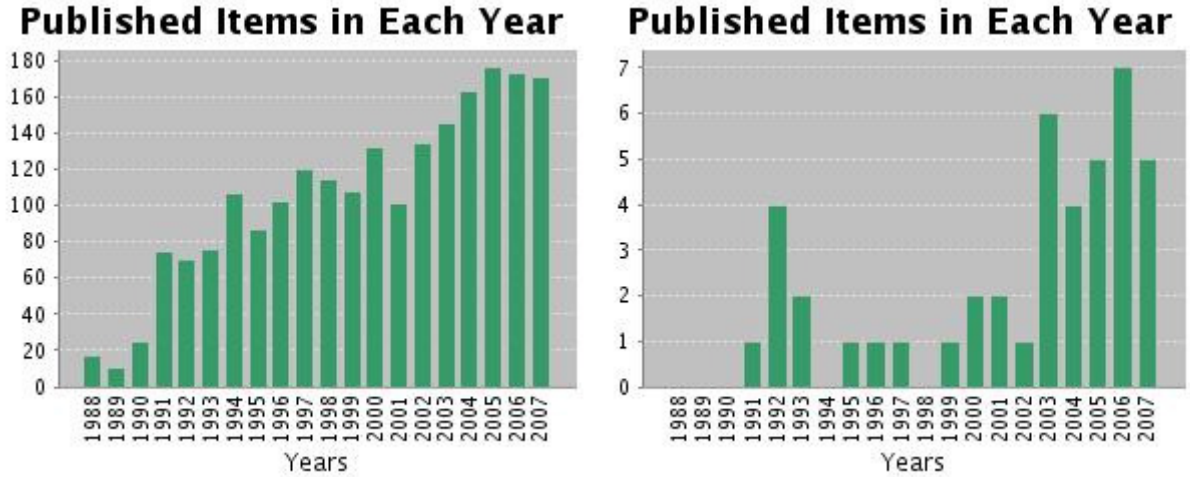
l'arboriculture fruitière, elle a été plus large dans sa couverture thématique et disciplinaire (des équipes de sciences sociales y ont participé) et dans les partenariats mobilisés (implication du CTIFL, de l'ACTA et des comités de bassin).

Au-delà des résultats obtenus — par exemple, la formalisation de règles de décision (vigne), la conception de modèles (gestion des mauvaises herbes ou de maladies telluriques en grande culture) ou la mise au point d'indicateurs environnementaux des pratiques arboricoles —, ces deux actions ont alimenté les réflexions qui ont présidé à l'élaboration du programme Agriculture et développement durable (Boiffin *et al*., 2004), initialement porté par l'INRA, en collaboration avec le Cemagref et le CIRAD, puis inscrit dans le cadre de l'Agence nationale de la recherche (ANR).

Une production scientifique modérée mais croissante

L'étude de la production scientifique permet d'accéder à une autre vision, reproductible et rétrospective, des activités de l'INRA dans ce domaine. L'analyse globale des publications parues depuis 1975 dans les revues scientifiques internationales référencées par le « *Web of Science* » fait apparaître un saut du nombre de publications en 1991, puis une croissance régulière (Figure 1).

Figure 1 *: Evolution entre 1988 et 2007 (année incomplète) du nombre annuel de publications sur la protection intégrée et référencées par le Web of Science (interrogation le 10/11/2007 par référence aux* « topics » : « Integrated pest management/control », « Integrated protection/control », « Integrated crop/vineyard/orchard/greenhouse protection/control »). *A gauche : publications mondiales (2282). A droite : publications signées par l'INRA (43).*



Avec 75 articles (sur 2282) dont l'un, au moins, des auteurs a une adresse en France, la contribution des équipes françaises reste modeste (un peu plus de 3 % de l'ensemble des publications). Ce nombre limité de publications ne permet pas une analyse quantitative approfondie : pour l'INRA, dont les publications représentent environ 2% des publications mondiales dans ce domaine, on observe cependant une augmentation sensible du nombre de publications depuis 2003, ce qui coïncide avec la phase d'obtention et de valorisation des résultats des actions transversales PIC et PFI[3].

Au plan thématique et disciplinaire, on constate le très fort poids, historique, de l'entomologie (46% relèvent de cette discipline) dans les publications mondiales relevant de la protection intégrée, devant

[3] Cette analyse est confirmée par l'interrogation de la base de données « ProdINRA » qui rassemble l'ensemble des publications scientifiques et techniques de l'INRA (dans les revues référencées par le « *Web of Science* » comme dans d'autres supports). Sur 10 ans, entre 1997 et 2006, on dénombre 207 références sur la « protection intégrée » (30 sur la « production intégrée »).

l'agronomie (15%), les sciences du végétal (11%), les journaux généralistes en agriculture (7%), l'écologie (7%), les sciences de l'environnement (6%), les biotechnologies et la microbiologie appliquée (6%) et l'horticulture (5%)[4].

Un réseau pluridisciplinaire et multisites pour couvrir la diversité des situations

L'analyse des recherches en cours, à l'INRA, dans le domaine de la protection intégrée des cultures peut être réalisée au travers de la base de données « CompAct » qui rassemble l'ensemble des activités élémentaires déclarées par les équipes et unités de recherche ou expérimentales (activités de recherche, d'appui scientifique ou expérimentales), et validées par les départements. En septembre 2007, ce répertoire fait ainsi apparaître une vingtaine d'activités élémentaires (tableau 1) qui mobilisent principalement des équipes des départements Santé des plantes et environnement (SPE), Environnement et agronomie (EA), ainsi que, dans une moindre mesure, des départements Sciences pour l'action et le développement (SAD) et Génétique et amélioration des plantes (GAP), et plus marginalement des départements Ecologie des forêts, prairies et milieux aquatiques (EFPA) et Sciences sociales, agriculture et alimentation, environnement et espace (SAE2).

Le croisement de cette analyse par activités avec l'étude, dont les bases sont elles aussi déclaratives, de la description des unités (tableau 2) fournit des résultats cohérents. Se dégagent ainsi les sites principaux où les questions de protection (et de production) intégrée sont abordées : Avignon et Angers pour l'arboriculture fruitière ; Avignon, Sophia-Antipolis et Montpellier pour les cultures sous serre ; Bordeaux et Montpellier pour la viticulture ; Dijon pour la gestion des adventices ; Versailles-Grignon et Rennes pour les grandes cultures ; Rennes pour les cultures légumières de plein champ ; la Guadeloupe pour les cultures tropicales. Cette analyse reste partielle puisque les descriptions des activités élémentaires et des unités ne sont pas homogènes et que certains thèmes, qui en relèvent pourtant, ne sont pas nécessairement référencés sous la rubrique « protection intégrée » : par exemple, la création de variétés rustiques, ou la conception et l'évaluation de systèmes de culture à faibles intrants, ou encore l'étude de la durabilité des résistances. La protection intégrée recouvre en effet une approche par essence pluridisciplinaire qui s'accommode mal d'une description segmentée en activités.

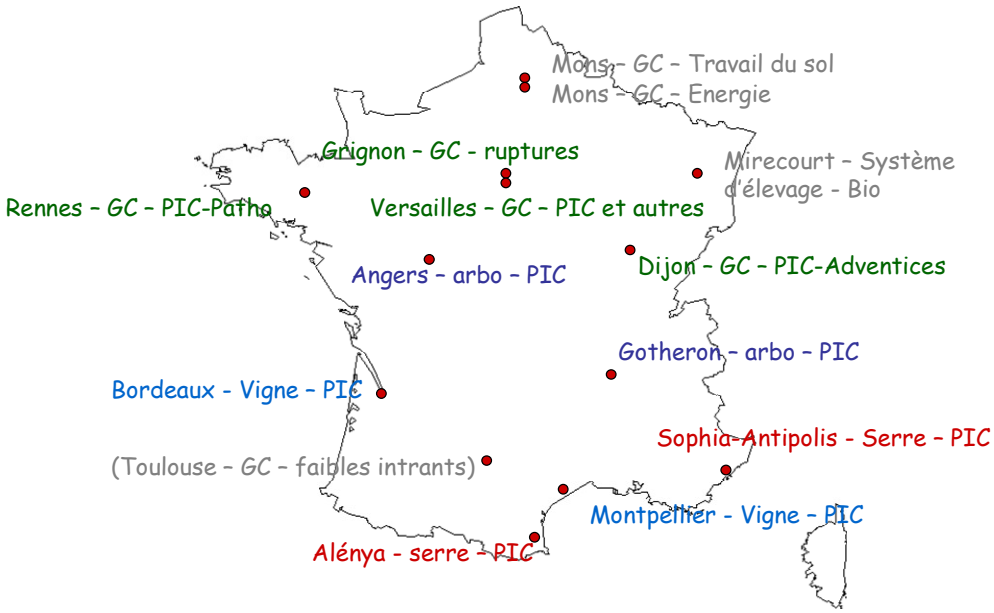
La diversité des systèmes étudiés et des disciplines mobilisées ainsi que la distribution géographique des équipes sur l'ensemble du territoire national ont motivé l'organisation d'une animation scientifique en réseau au sein de l'Institut. En 2004 à la fin de l'action transversale PIC, les départements EA et SPE, en lien avec les départements GAP et SAD ont mis en place un réseau d'animation scientifique « Protection intégrée des cultures » qui mobilise plus d'une centaine de participants et qui est organisé autour de quatre thématiques :

- les outils de pilotage de la protection intégrée : le couplage de modèles de fonctionnement des systèmes de culture, de modèles démographiques de populations de bioagresseurs et de modèles décisionnels en constitue l'enjeu central. Les objectifs sont de valoriser les connaissances et modèles disponibles, d'augmenter leur généricité, de proposer des outils d'aide à la décision et au pilotage, et d'enrichir les expérimentations en contribuant à la formalisation des règles de décision et à la mise en réseau multi-local des différents sites ;
- le montage et la valorisation du réseau des unités expérimentales (UE) sur la protection intégrée des cultures (figure 2). Huit des 29 unités listées au tableau 2 sont en effet des UE qui sont impliquées, d'une part, dans les processus d'observation et d'acquisition des données et, d'autre part, dans la conception et l'expérimentation en vraie grandeur de systèmes innovants, dont certains sont en rupture par rapport aux pratiques agricoles usuelles ;

[4] NB : ces pourcentages ne sont pas additifs puisque certains journaux scientifiques émargent à plusieurs catégories thématiques.

- le développement de relations entre les chercheurs en biologie et agronomie, d'une part, et les chercheurs en sciences sociales, d'autre part. Ces liens peuvent concerner des thématiques variées : l'étude des conséquences de l'adoption des principes de la protection intégrée et des freins à cette adoption ; l'introduction de variables socio-économiques dans les modèles biophysiques et les outils d'aide à la décision ; l'étude des possibilités d'organisation collective (dans les filières, les marchés ou les territoires) liée à la protection intégrée ;
- l'importation des concepts et méthodes de l'écologie des communautés et du paysage au service de la protection intégrée des cultures, la question centrale étant de prendre en compte les dimensions spatiales et temporelles dans la gestion des bioagresseurs (organisation spatiale des systèmes de culture, aménagements paysagers et zones de compensation, succession des cultures, *etc.*).

Figure 2 *: Réseau des unités expérimentales impliquées dans les recherches sur la protection intégrée des cultures (d'après Nicolas Munier-Jolain, INRA, Dijon). PIC : protection intégrée des cultures. GC : grandes cultures.*



Un réseau européen d'excellence sur la protection des cultures

Au niveau européen, l'INRA a pris l'initiative de constituer et coordonner un réseau d'excellence dans le cadre du 6ème programme cadre de recherche et de développement. ENDURE[5] (« *European Network for the Durable Exploitation of Crop Protection* », 2007-2010) rassemble 130 chercheurs en agronomie, biologie, écologie, économie et sciences sociales issus de 18 organisations de recherche, d'enseignement supérieur et de développement (dont l'ACTA pour la France) dans 10 pays européens. Il a pour but de contribuer à la diversification des systèmes de protection des cultures en définissant des priorités de recherche en vue de la réduction de l'usage des pesticides au niveau européen, en mettant en commun des connaissances, des compétences et des plates-formes technologiques, et en

[5] Voir : http://www.endure-network.eu/

fournissant des références aux agriculteurs comme à l'ensemble de la société. Il est organisé autour de quatre axes :

- l'optimisation et la réduction de l'usage des pesticides sur la base d'étude de cas (gestion intégrée des adventices, protection intégrée des cultures de blé, de pomme de terre, de tomates, et de vergers de pommier, *etc.*) ;
- la conception de nouvelles stratégies de protection des cultures faisant appel aux technologies et à l'écologie, à l'expérimentation et à la modélisation ;
- l'évaluation multicritères et comparative de divers systèmes de culture ;
- l'accroissement des connaissances biologiques sur des thèmes clés pour la maîtrise des interactions cultures – bioagresseurs (gestion des résistances aux pesticides, valorisation des sources de résistance des plantes aux bioagresseurs, lutte biologique, invasions biologiques et maladies émergentes, la biologie et la gestion des adventices).

Programmation des recherches : nouvelles opportunités et nouveaux défis

L'ANR va mettre en place, en 2008, le programme « Ecosys-terra : Nouvelle technologie agricole et gestion intégrée des écosystèmes et territoires »[6], que l'INRA a contribué à préparer, et qui inclut les questions relatives à la protection intégrée des cultures. D'autre part, les équipes de l'INRA collaborent à des projets de protection intégrée portés par des instituts techniques dans le cadre des financements du CAS-DAR.

Depuis un an, l'INRA s'est engagé, en partenariat avec la FNPL et le CTIFL, dans un programme fédérateur et pluriannuel de recherche sur la production intégrée des cultures légumières, « PIClég ». Celui-ci tirera parti de l'expérience des actions transversales PIC et PFI. Il s'appuie sur un groupement d'intérêt scientifique (GIS) qui aura pour but de fédérer l'ensemble des partenaires (outre le CTIFL et la FNPL, le ministère de l'Agriculture, VINIFLHOR, FEDECOM, FELCOOP, INTERFEL, APCA). Ce programme qui débute fin 2007 est organisé en plusieurs groupes de projets : l'analyse et la conception de systèmes de culture ; la gestion de la fertilisation et des interactions avec les bio agresseurs ; la compréhension du fonctionnement et la gestion, d'une part, des bioagresseurs telluriques, d'autre part, des bioagresseurs à forte capacité de dispersion ; l'efficacité économique et l'économie des exploitations ; l'évaluation des effets et des impacts sur l'environnement et la qualité des produits ; la promotion et le développement des systèmes de production intégrée de cultures légumières de plein champ et sous serre.

En réponse aux attentes exprimées dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, une démarche similaire est envisagée pour les grandes cultures, en lien avec ARVALIS et le CETIOM.

Renforcement des compétences sur la conception et l'évaluation de systèmes agricoles innovants

A plus long terme, l'INRA a engagé, en 2006, une opération de renforcement de ses compétences dans le domaine des systèmes agricoles innovants (Meynard *et al*., 2006). Les enjeux identifiés sont liés à la responsabilité avérée de l'agriculture dans la dégradation de l'état de l'environnement, la nécessaire compétitivité des exploitations agricoles dans un contexte de mondialisation des échanges, l'évolution des attentes des consommateurs et de la demande des filières, le droit de regard que se donne la société sur les pratiques agricoles, la multifonctionnalité de l'agriculture au niveau des territoires.

La prise en compte de ces enjeux appelle un renforcement des recherches systémiques et débouche sur l'identification de trois grands domaines d'innovation, dont le premier inclut les questions de

[6] Voir : http://www.agence-nationale-recherche.fr

protection intégrée des cultures : « l'internalisation des dimensions environnementales, sanitaires et éthiques dans les systèmes agricoles ; la mutation des systèmes agricoles liée aux reconfigurations du métier d'agriculteur et des relations de conseil ; la différenciation des systèmes agricoles liée à la segmentation des marchés et aux stratégies des entreprises d'amont et d'aval ».

Références bibliographiques

Aubertot J.N., Barbier J.M., Carpentier A., Gril J.J., Guichard L., Lucas P., Savary S., Savini I., Voltz M. (éditeurs), 2005. *Pesticides, agriculture et environnement. Réduire l'utilisation des pesticides et limiter leurs impacts environnementaux*. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA et Cemagref (France), 64 p.

Boiffin J., Hubert B., Durand N. (éditeurs), 2004. Agriculture et développement durable. Enjeux et questions de recherche. INRA Editions, Paris, 92 p.

Messéan A., Lamine C., Ricci P., 2007. Evaluation de l'impact des innovations et des changements de la réglementation : conséquences sur la protection intégrée.

Meynard J.M., Aggeri F., Coulon J.B., Habib R., Tillon J.P., 2006. *Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants*. Rapport du groupe de travail au conseil scientifique, INRA, 71 p.

OILB, 1977. Vers la production agricole intégrée par la lutte intégrée. OILB, Bulletin SROP, 1977/4, 163 p.

***Tableau 1** : Liste, classée par centre de recherche, des activités élémentaires de recherche, extraites en septembre 2007 de la base de données « CompAct » de l'INRA et qui se réfèrent explicitement à la « protection intégrée » [des cultures].*

Intitulé d'activité	UNITE
Épidémiologie, gestion des risques sanitaires dans les agrosystèmes tropicaux	UR979 Productions végétales – Antilles-Guyane
Protection intégrée contre les bioagresseurs des tubercules d'ignames	UR979 Productions végétales – Antilles-Guyane
Interactions plantes-environnement-bioagresseurs : épidémiologie et régulations biologiques	UR135 Unité agropédoclimatique de la zone caraïbe – Antilles-Guyane
Bases génétiques, physiologiques et moléculaires de la résistance aux bioagresseurs	UR979 Productions végétales – Antilles-Guyane
Modèles de production pour l'écologisation de l'agriculture	UR767 Écodéveloppement – Avignon
Écologie de la production intégrée	UR1115 Plantes et systèmes de culture horticoles – Avignon
Lutte biologique à l'aide d'insectes entomophages	UE1254 Lutte biologique – Sophia Antipolis
Épidémiologie végétale, dynamique des populations d'insectes et structure spatio-temporelle des populations	UMR1065 Santé végétale – Bordeaux-Aquitaine
Méthodologies pour la caractérisation, la gestion, et l'optimisation de systèmes de protection intégrée	UMR1065 Santé végétale – Bordeaux-Aquitaine
Entomologie - insectes des denrées	UR1264 Mycologie et sécurité des aliments – Bordeaux-Aquitaine
Déterminismes génétiques et environnementaux de la qualité des agrumes	UR1103 Génétique et écophysiologie de la qualité des agrumes – Corse
Activité des toxines insecticides	UMR1133 Écologie microbienne des insectes et interactions hôte-pathogène – Montpellier
Agrophysiologie et protection intégrée du tournesol pour la construction d'itinéraires techniques	UMR1248 Agrosystèmes et développement territorial – Toulouse / UE802 Domaine expérimental d'Auzeville – Toulouse
Protection intégrée contre les adventices	UMR1210 Biologie et gestion des adventices – Dijon
Signalisation cellulaire et moléculaire dans les réactions de défense	UMR1088 Plante - microbe - environnement : biochimie, biologie cellulaire et écologie – Dijon
Stratégies de protection du pommier vis-à-vis de la tavelure	UMR77 Pathologie végétale : biodiversité, écologie, interactions bioagresseurs/plantes – Angers / UE449 Unité expérimentale de Bois l'Abbé - La Rétuzière – Angers
Fonctionnement des agrosystèmes et stratégies de protection intégrée	UMR1099 Biologie des organismes et des populations appliquée à la protection des plantes – Rennes
Modélisation des interactions plantes-agents pathogènes (maladie/ozone). Contribution à la protection intégrée et à la construction de variétés tolérantes	UMR1091 Environnement et grandes cultures – Versailles-Grignon / UE1246 Grandes cultures du centre de Versailles-Grignon – Versailles-Grignon
Dynamique de l'évaluation et de la mise en gestion des risques sanitaires et environnementaux impliquant l'agriculture	UMR1048 Sciences pour l'action et le développement : activités, produits, territoires – Versailles-Grignon
Évaluation et mise au point de systèmes de culture	UMR211 Agronomie – Versailles-Grignon / UE1246 Grandes cultures du centre de Versailles-Grignon – Versailles-Grignon
Épidémiologie et protection intégrée	UMR207 Pathologie végétale et épidémiologie – Versailles-Grignon / UE1246 Grandes cultures du centre de Versailles-Grignon – Versailles-Grignon
Gestion durable des résistantes aux bioagresseurs	UMR207 Pathologie végétale et épidémiologie – Versailles-Grignon / UE1246 Grandes cultures du centre de Versailles-Grignon – Versailles-Grignon

Tableau 2 *: Liste des unités, extraites en septembre 2007 de la base de données CompAct de l'INRA, se référant explicitement à la « protection intégrée » ou à la « production intégrée » [des cultures], et classées par centre de recherche. UR : unité de recherches. UMR : unité mixte de recherches. UE : unité expérimentale.*

Protection intégrée	
Intitulé d'unité	Code
Productions végétales. (Antilles-Guyane)	UR979
Domaine expérimental horticole du Mas Blanc. (Avignon)	UE411
Pathologie végétale. (Avignon)	UR407
Écologie des invertébrés. (Avignon)	UMR406
Plantes et systèmes de culture horticoles. (Avignon)	UR1115
Recherches intégrées - Gotheron. (Avignon)	UE695
Unité expérimentale forestière méditerranéenne. (Avignon)	UE348
Interactions plantes-microorganismes et santé végétale. (Sophia Antipolis)	UMR1064
Recherches intégrées en horticulture. (Sophia Antipolis)	UR880
Lutte biologique. (Sophia Antipolis)	UE1254
Santé végétale. (Bordeaux-Aquitaine)	UMR1065
Domaine expérimental viticole de Bordeaux. (Bordeaux-Aquitaine)	UE1086
Centre de biologie et de gestion des populations. (Montpellier)	UMR1062
Écologie microbienne des insectes et interactions hôte-pathogène. (Montpellier)	UMR1133
Développement et amélioration des plantes. (Montpellier)	UMR1098
Biologie et génétique des interactions plantes/agents pathogènes. (Montpellier)	UMR385
Agrosystèmes et développement territorial. (Toulouse)	UMR1248
Domaine expérimental d'Auzeville. (Toulouse)	UE802
Biologie fonctionnelle, insectes et interactions. (Clermont-Ferrand - Theix - Lyon)	UMR203
Biologie et gestion des adventices. (Dijon)	UMR1210
Innovations sociotechniques et organisationnelles en agriculture. (Dijon)	UR718
Plante - microbe - environnement : biochimie, biologie cellulaire et écologie. (Dijon)	UMR1088
Unité expérimentale de Bois l'Abbé - La Rétuzière. (Angers)	UE449
Pathologie végétale : biodiversité, écologie, interactions bioagresseurs/plantes. (Angers)	UMR77
Biologie des organismes et des populations appliquée à la protection des plantes. (Rennes)	UMR1099
Grandes cultures du centre de Versailles-Grignon. (Versailles-Grignon)	UE1246
Phytopharmacie et médiateurs chimiques. (Versailles-Grignon)	UR258
Agronomie. (Versailles-Grignon)	UMR211
Pathologie végétale et épidémiologie. (Versailles-Grignon)	UMR207
Plantes et systèmes de culture horticoles. (Avignon)	UR1115
Unité expérimentale environnement et agronomie d'Avignon. (Avignon)	UE1187
Recherches intégrées en horticulture. (Sophia Antipolis)	UR880
Domaine expérimental viticole de Bordeaux. (Bordeaux-Aquitaine)	UE1086
Économie et sociologie rurales - Toulouse. (Toulouse)	UR685

72 Agriculture et Développement Durable • Enjeux et questions de recherche

Protection Intégrée des Cultures [1]

Photo : Christian Huignard

végétale, entomologie, malherbologie) et en agronomie (écophysiologie, bioclimatologie, agronomie systémique) autour des thèmes de recherche suivants :

- analyser le fonctionnement d'un agrosystème afin d'identifier les options susceptibles de réduire la dynamique de développement des bioagresseurs, notamment grâce à une meilleure connaissance des interactions qui lient les composantes biotiques responsables des dégâts et les autres composantes biotiques et abiotiques du milieu ;
- identifier ou rechercher les techniques (physiques, biologiques ou génétiques), qui grâce à leur effet direct ou indirect sur la dynamique de développement des bioagresseurs, permettent de réduire ou d'éviter l'utilisation de pesticides ;
- construire et évaluer des stratégies de conduite agronomique assurant un compromis optimal entre efficacité vis-à-vis des bioagresseurs, réalisme économique et impact environnemental ;
- concevoir des outils d'aide à la décision, identifier les circuits de diffusion de l'information et proposer des modalités de diffusion des savoirs et savoir-faire favorisant la mise en œuvre des méthodes de protection intégrée.

À partir des 24 propositions de recherche suscitées par l'appel à idées, 9 projets intégrés de recherche (appuyés par deux groupes de travail) ont été co-construits par les proposants au cours d'un séminaire de lancement (avril 2001). Associant agronomes, écophysiologistes, bioclimatologistes, malherbologistes, entomologistes et pathologistes, ces projets portent sur des cultures annuelles de plein champ (grandes cultures : blé, pois et colza ; cultures légumières : carotte, tomate aux Antilles), des cultures sous abri (tomate et rosier) et des cultures pérennes (vigne, pommier et poirier). Ils mêlent études analytiques et systémiques, modélisation et/ou expérimentations, notamment des expérimentations de longue durée mises en place spécifiquement pour ce programme, avec l'appui des Unités Expérimentales de l'INRA ; grandes cultures pour la gestion des mauvaises herbes (Dijon), vigne (Bordeaux), arboriculture (Gotheron) et cultures florales (Sophia).

Le programme PIC a fait l'objet de deux ateliers de restitution, soumis à l'évaluation d'un comité scientifique : l'un à mi-parcours (novembre 2002), l'autre en fin d'action (mars 2004). Un séminaire ouvert aux acteurs concernés par la protection des cultures sera organisé fin 2004 pour en présenter les résultats significatifs. Le budget total du programme s'est élevé, pour les trois années du programme, à 630 K€ dont 27% ont été apportés par les Départements "Santé des Plantes et Environnement" et "Environnement et Agronomie".

Fédérer des compétences en biologie des bioagresseurs des cultures et en agronomie

La protection des cultures vis-à-vis des agressions dues à des maladies, des ravageurs ou des plantes adventices fait largement appel à des pesticides d'origine chimique dont les impacts sanitaires et environnementaux sont de plus en plus contestés. Les méthodes de lutte alternatives ne présentent pas ces inconvénients mais pâtissent souvent d'un manque d'efficacité.

L'émergence de nouveaux modes de protection des cultures ne peut donc résulter de recherches uniquement analytiques visant à substituer une méthode à une autre. Elle nécessite, au contraire, une prise en compte du système de culture et des itinéraires techniques mis en œuvre, notamment quant à leur impact sur la dynamique des bioagresseurs et aux conséquences qu'induisent ces dynamiques sur la croissance et le développement des plantes cultivées et donc *in fine* sur le rendement (qualité et quantité). Elle nécessite également de prendre en compte la complémentarité de moyens de gestion à efficacité partielle dont la combinaison permet d'atteindre un niveau de protection économiquement acceptable.

Ces principes ont conduit au lancement, en 2001, de l'action transversale "Protection Intégrée des Cultures" (PIC) destinée à développer une approche intégrée de la protection des cultures, c'est-à-dire la combinaison de différentes techniques de lutte (chimique, biologique...) avec des choix d'itinéraires techniques et de systèmes de cultures en vue de parvenir à un optimum sur les plans économique, écologique et agronomique.

À cette fin, PIC a entrepris de fédérer des compétences en biologie des bioagresseurs des cultures (pathologie

[1] Fiche réalisée par Philippe Lucas (INRA/SPE).

Photo : André Lephilippe

Un objectif fédérateur et structurant largement atteint

L'objectif fédérateur et structurant du programme a été largement atteint grâce aux échanges qui ont eu lieu au sein de chacun des neuf projets mais également pendant les trois séminaires et dans le cadre des deux groupes de travail (notamment celui consacré aux systèmes de culture intégrés). Cette dynamique se prolonge aujourd'hui à travers des projets portant, par exemple, sur la construction de règles de décision pour la protection intégrée du vignoble et la gestion des adventices environnementaux destinés à évaluer les stratégies de protection intégrée en arboriculture, l'utilisation des cultures intermédiaires pour la gestion des maladies d'origine tellurique en grandes cultures et en cultures légumières de plein champ...

Les dispositifs expérimentaux construits dans le cadre du programme ont également eu un effet fédérateur et constituent aujourd'hui des lieux d'interrogation sur les pistes innovantes de gestion et de recherche à explorer. Pour faire en sorte que ces dispositifs ne constituent pas seulement des illustrations du "possible", un travail conséquent de formalisation des connaissances produites a été organisé sous forme de règles de décision (règne) ou de modèles (gestion des mauvaises herbes ou de maladie tellurique en grande culture). Cet effort doit à présent trouver un écho dans les autres systèmes de culture étudiés, notamment par le biais de la modélisation.

En ce qui concerne la prise en compte des impacts environnementaux dans l'évaluation des différentes stratégies de protection des cultures, le programme PIC a permis des avancées notables dans le domaine de la gestion des mauvaises herbes et dans celui de la protection intégrée en arboriculture. Des efforts restent cependant à faire pour que cette dimension soit davantage prise en compte dans l'ensemble des systèmes étudiés.

Enfin, si les dimensions temporelles liées aux dynamiques de certains bioagresseurs (maladies telluriques, plantes adventices) ont pu être bien appréhendées grâce aux dispositifs expérimentaux pluriannuels, les avancées ont été plus modestes en ce qui concerne leurs dimensions spatiales : les projets n'ont en effet que très rarement dépassé l'échelle parcellaire alors que l'ambition initiale était d'aborder l'ensemble des niveaux d'organisation spatiale, de la parcelle à la région.

Poursuivre la collaboration interdisciplinaire en l'étendant aux sciences sociales

La dynamique de collaboration interdisciplinaire initiée dans le cadre de PIC mérite d'être prolongée en vue, notamment, de mieux définir et prendre en compte les profils de bioagresseurs dans les stratégies de gestion. Face à l'écueil de l'analyse au cas par cas, un effort conceptuel doit être engagé afin de traduire, à partir de dispositifs expérimentaux et de travaux de modélisation, les profils de bioagresseurs en processus explicatifs de leur dynamique et de leur nuisibilité. Ces processus permettront, ensuite, de mettre au point des instruments de gestion puis une organisation spatiale et temporelle de ces processus en stratégies de gestion des agrosystèmes.

Certaines recherches analytiques en cours (par exemple, celles consacrées à l'induction de réactions de défense) pourraient, une fois appropriées et intégrées au sein des stratégies de protection des cultures, déboucher sur des instruments de gestion prometteurs. Elles pourraient également ouvrir la voie à de nouvelles recherche (par exemple : quelles sont les caractéristiques associées au rôle assimilant d'une culture intermédiaire ?) ; d'où la nécessité de dynamiser les interactions entre les recherches à caractère systémique et celles à caractère analytique.

À l'interface entre agronomie et écologie, l'identification, la préservation et la stimulation des phénomènes naturels de régulation des épidémies constituent des champs d'investigation d'autant plus prioritaires qu'ils s'inscrivent résolument dans une perspective de durabilité des méthodes et de limitation des intrants. Associer ainsi stratégies de limitation des risques phytosanitaires et tactiques complémentaires de lutte nécessite cependant la mise en œuvre d'outils d'aide à la décision ; une dimension insuffisamment prise en compte dans l'action transversale PIC.

Enfin, les stratégies de gestion proposées devront être évaluées à la fois sur le plan de leurs impacts environnementaux, de leur acceptabilité et de leur pertinence économique. À ce titre, le partenariat déjà engagé au sein des disciplines biotechniques devra être élargi aux disciplines socio-économiques.

Agriculture et Développement Durable • Enjeux et questions de recherche 73

Encadré 1. Bilan de l'action transversale « Protection intégrée des cultures » (tiré de Boiffin *et al.*, 2004).

74 Agriculture et Développement Durable • Enjeux et questions de recherche

Production Fruitière Intégrée [1]

Photo : Christian Sigwalder

Concilier les exigences écologiques, économiques et toxicologiques de la production fruitière

Lancée au début des années 2000 dans un contexte de mutation de la production fruitière (réforme de l'OCM, exigences croissantes en matière de qualité et de respect de l'environnement...), PFI est une action de recherche transversale et pluridisciplinaire destinée à développer, à l'échelle de la filière, une approche intégrée de la production fruitière, c'est-à-dire "un système de production mettant en œuvre un ensemble de techniques culturales satisfaisant à la fois les exigences écologiques, économiques et toxicologiques en vue d'obtenir une récolte qualitativement optimale".

Cette action entendait ainsi atteindre quatre objectifs majeurs :

1• Étudier les enjeux de la mise en œuvre de la PFI et les conséquences socio-économique d'une telle mise en œuvre en aval de la production.

2• Comprendre comment les pratiques des arboriculteurs sont déterminées par le mode d'organisation des producteurs au sein des OP, ainsi que par les contraintes qui leur sont propres.

3• Analyser les pratiques mises en œuvre par les producteurs.

4• Proposer à terme des moyens de moduler les cahiers des charges en fonction de caractéristiques locales et/ou régionales.

Le programme PFI a été organisé en sept tâches gérées sous la responsabilité d'un (ou plusieurs) animateur(s), et coordonnées entre elles au travers de groupes de travail pluridisciplinaires sous la responsabilité des membres du comité de pilotage du projet (la tâche 7, développement de l'informatique, était transversale à l'ensemble du projet).

Lancée à l'initiative des chercheurs concernés, après une phase de préparation importante menée en concertation avec plusieurs partenaires socio-économiques (CTIFL, ACTA, Comités de Bassin...), ce projet a bénéficié d'un soutien financier de l'INRA de 550 000 euros. L'animation scientifique a été très volontaire, et très soutenue, pendant toute la durée du projet. Elle s'est traduite par des séminaires réguliers, des journées thématiques, une journée "thésards PFI" et un colloque de restitution INRA-Ctifl. Un colloque de clôture est programmé pour janvier 2005.

De la connaissance de la filière à la mise au point d'outils d'aide à la décision : les acquis de PFI

• Tâche 1 : économie de la "Production Fruitière Intégrée"

Le programme a eu un effet structurant pour cette thématique, y compris en attirant des jeunes chercheurs. On peut relever que PFI a permis une ouverture significative sur les enseignes de la Grande Distribution, avec une bonne clarification de leurs intentions stratégiques et contraintes. Les actions 2003 ont permis une première exploration des "perceptions des consommateurs".

• Tâche 2 : stratégies des producteurs et des organisations de producteurs vis-à-vis de la PFI

L'analyse des OP "pêche" du bassin de la région Rhône-Alpes (30% de la production) et de la crise qu'elles traversent a montré que les modalités d'organisation ont du mal à rencontrer le produit. Dans un autre registre, l'analyse des stratégies des producteurs de pommes d'une même OP (zone de l'Étang de l'Or proche de Montpellier) montre que les plus innovants sont les producteurs non spécialisés. L'hypothèse est que leur activité viticole leur permet une prise de risque que ne peuvent assumer les producteurs spécialisés en pomme. Dans le même temps, la production de masse est encore ce qui rapporte le plus sûrement sur le plan économique...

• Tâche 3 : caractérisation des pratiques et formalisation de règles d'action

Cette tâche a associé de façon très organique l'INRA, le Ctifl et diverses structures de développement (CETA, stations régionales) ou de production (coopératives). Elle a eu un fort impact dans la filière, d'autant que plusieurs des actions menées ont été des succès : base de données PFI sur les performances agronomiques et techniques des vergers de pêchers, propositions techniques innovantes élaborées et testées avec une démarche inspirée de l'expérience MARCOT, thèse à l'interface SAD-EA sur les causes et conséquences des pratiques de fertilisation et irrigation en vergers de pommiers.

• Tâche 4 : modélisation biotechnique de la culture

L'enseignement le plus global tiré de ce volet est qu'une démarche de modélisation est difficile à partager avec des non spécialistes car elle est comporte de nombreuses expérimentations spécifiques peu susceptibles d'être valorisées directement par la profession (décortiqage d'un processus, paramétrage des modèles, validation...). Cette difficulté a été accentuée dans PFI par la présence simultanée d'une démarche de recherche participative (MARCOT et son adaptation au pêcher), porteuse d'une forte adhésion des différents partenaires. Il nous semble cependant que cette difficulté est surmontable, et qu'une meilleure interaction avec les travaux sur l'analyse des pratiques (tâche 3) aurait pu/devrait fournir les bases d'une synergie féconde.

• Tâche 5 : impacts des conduites sur l'environnement du verger

La collaboration INRA-Ctifl a rendu possible la mise au point, dans un délai très bref, d'indicateurs d'impacts environnementaux des pratiques arboricoles basés sur la méthode Indigo®. L'indicateur I-Phyarbo sur l'impact des produits phytosanitaires est ainsi opérationnel. Il concerne les principales espèces fruitières françaises.

• Tâche 6 : spatialisation

Les différents travaux produits au cours du projet permettent d'obtenir des informations spatialisées ou de dériver des données pertinentes pour répondre aux diverses interrogations des autres équipes intervenant dans le cadre PFI (cartes d'occupation des sols, indice de fragmentation du paysage...).

Un projet de recherches sur les conditions d'émergence, de qualification et de reconnaissance d'un nouveau mode de production "écologique" ?

Cela peut paraître paradoxal, mais le fait que le projet ait eu une fin annoncée, et ce dès sa conception, a été un facteur favorable à son déroulement. D'une part en fixant des échéances, en phase d'ailleurs avec la dynamique des thèses et post-docs engagés à l'occasion du programme, d'autre part en mettant les équipes en position d'en préparer les "suites". Il ne s'agit pas là de suites construites pour remplacer le programme dans son ensemble, mais des multiples projets scientifiques qu'il a permis d'élaborer (non repris ici), souvent en bénéficiant des collaborations et de la confiance mutuelle mises en place à l'occasion de PFI.

Il est clair, également que tous les objectifs fixés n'ont pas été atteints et que certaines des ambitions affichées se sont révélées "naïves". Par exemple, celle d'aider à formaliser un référentiel en vue de l'élaboration de normes techniques collectives PFI (cahiers des charges) s'est heurtée à la réalité du flou et de la diversité actuels des cahiers des charges. Ce flou et cette diversité servent, de fait, les intérêts de la filière dans un contexte où la norme environnementale, bien que devenue stratégique, imposerait dans sa conception la plus "PFI" (c.a.d. celle de l'Organisation Internationale de Lutte Biologique) des changements assez radicaux des modes d'organisation et de production.

Cela nous conduit à penser que la question à traiter n'est pas celle de l'établissement des normes techniques à inscrire dans un cahier des charges (déjà bien documentées par une organisation internationale comme l'OILB), mais plutôt celle des relations entre qualification du produit et gestion technique du verger qui prendrait en compte les freins multiples à l'adoption de ces "directives" dans leurs dimensions techniques, organisationnelles et économiques. Cela reviendrait finalement à construire un projet de recherches autour des conditions d'émergence, de qualification et de reconnaissance d'un nouveau mode de production "écologique" qui viendrait prendre une place sur les linéaires entre production raisonnée et production biologique et serait accepté par la filière de production et de mise en marché, les distributeurs et les consommateurs.

Photo : Christophe Delaire

Agriculture et Développement Durable • Enjeux et questions de recherche 75

[1] Fiche rédigée par Robert Habib (INRA/TA).

Encadré 2. Bilan de l'action transversale « Production fruitière intégrée » (tiré de Boiffin et *al*. 2004).