



**HAL**  
open science

## Recherche et innovation dans le plan Écophyto : présentation synthétique du Programme scientifique de l'axe Recherche

Pierre Ricci

► **To cite this version:**

Pierre Ricci. Recherche et innovation dans le plan Écophyto : présentation synthétique du Programme scientifique de l'axe Recherche. Innovations Agronomiques, 2015, 46, pp.157-169. hal-02630334

**HAL Id: hal-02630334**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02630334>**

Submitted on 27 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0  
International License

## Recherche et innovation dans le plan Écophyto : présentation synthétique du Programme scientifique de l'axe Recherche

Ricci P.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Président du Groupe d'Experts Recherche Écophyto*

INRA, Institut Sophia Agrobiotech (UMR 1355), BP 167, 06903 Sophia Antipolis

Correspondance : [ricci@sophia.inra.fr](mailto:ricci@sophia.inra.fr)

### Résumé

Le plan Écophyto vise à transformer la gestion de la santé des plantes pour réduire fortement l'usage des pesticides. Les besoins de recherche et d'innovation en appui à cette transformation ont été analysés par le Groupe d'experts mis en place dans l'axe recherche du plan. Les questions prioritaires ont été inscrites dans un Programme scientifique qui a servi, depuis 2011, à mobiliser la recherche et le développement à travers divers appels à projets. Les huit chapitres thématiques du Programme contribuent à répondre aux interrogations stratégiques que soulève la transformation de la protection des plantes : comment réduire la dépendance aux pesticides ? Comment mieux évaluer les risques induits par les bioagresseurs ? Comment limiter l'impact des pesticides ? Comment favoriser la transition ? Comment anticiper les évolutions futures ? Ces priorités ont déjà mobilisé près de 200 projets, financés par 48 M€. Dès 2016, cette dynamique sera encore renforcée dans le plan Écophyto II.

**Mots-clés :** Écophyto, santé des plantes, pesticides, méthodes alternatives, innovations systémiques, épidémiosurveillance, impacts environnementaux, santé humaine, comportement des acteurs, politiques publiques, durabilité des méthodes de lutte

### Abstract: Research and innovation in the Ecophyto plan

The Ecophyto plan aims at transforming pest management in order to strongly reduce pesticide use. Research and innovation needed to support this transformation have been analyzed by the expert group set up in the plan research axis. Issues have been prioritized in the form of a scientific Program that has been used, since 2011, to mobilize research and development through a range of calls for projects. The eight thematic chapters of the Program contribute answers to the strategic issues raised by the transformation of plant protection: how to reduce reliance on pesticides? How to better appraise pest-induced risks? How to limit pesticide impacts? How to support the transition? How to anticipate upcoming changes? Nearly 200 projects with a support of 48 M€ already addressed these priorities. From 2016 onwards, this dynamics will be further strengthened within the Ecophyto II plan.

**Keywords:** Ecophyto, plant protection, pesticides, alternative methods, system innovations, pest monitoring, environmental impacts, human health, stakeholders' behavior, public policy, durability of control methods

### Introduction

Le plan Écophyto, inscrit dans le cadre législatif européen sur les pesticides adopté en 2009, a engagé l'agriculture française dans une transformation ambitieuse du mode de gestion des bioagresseurs des cultures (ravageurs, agents de maladies et plantes adventices). La réduction rapide de la gamme des

produits phytopharmaceutiques disponibles, liée aux nouvelles règles d'homologation européennes<sup>1</sup> et les contraintes imposées à l'utilisation des substances encore disponibles (auxquelles s'ajoute l'apparition fréquente de souches résistantes) obligent en effet à repenser la protection des cultures en rupture avec le modèle dominant des cinquante dernières années qui reposait essentiellement sur la lutte chimique (Ricci *et al.*, 2011). L'objectif du plan est d'aboutir à une réduction d'usage des pesticides, en réponse à des enjeux environnementaux et de santé publique, fortement ressentis par les citoyens et les consommateurs, qui soit compatible avec le maintien d'une production agricole économiquement performante.

Les parties prenantes s'accordent à considérer que la recherche et l'innovation ont une contribution essentielle à apporter à cette transformation de la protection des cultures, mais cela passe par un renouvellement des priorités et des méthodes pour répondre aux besoins nouveaux qui ont émergé du fait d'Écophyto : besoin d'explorer des champs de connaissances jusque-là négligés (tels que le lien entre système de culture et bioagresseurs ou entre biodiversité et régulation naturelle, mais aussi la dimension socioéconomique du changement et le rôle des politiques publiques) ; besoin de renforcer l'armature scientifique et méthodologique sur laquelle s'appuient les grands dispositifs du plan (épidémiologie, réseaux Déphy,...) ; besoin de remettre sur le métier, dans le contexte du changement des pratiques promu par le plan, des questions liées aux méthodes de lutte (telles que l'innovation en biocontrôle, la résistance aux pesticides ou l'évolution des agroéquipements).

Ces nouvelles priorités sollicitent un éventail de champs disciplinaires qui déborde très largement du domaine traditionnel de la santé des plantes et qui fait appel à la biologie, l'écologie, l'agronomie, mais inclut aussi des sciences humaines (économie, sociologie), médicales et technologiques, éventail indispensable pour diversifier les éclairages et construire des démarches interdisciplinaires. Par ailleurs, une recherche qui vise à produire des sorties opérationnelles au bénéfice des objectifs du plan a besoin de s'ancrer dans l'expérience du terrain tout autant que dans les avancées conceptuelles de la recherche d'amont ; elle doit donc associer, dans un partenariat exigeant, acteurs du monde scientifique, de l'innovation et du développement.

Afin de promouvoir cette recherche adaptée aux besoins d'Écophyto, le pilote de l'axe du plan dédié à la recherche<sup>2</sup> a décidé dès 2010 de s'appuyer sur un Groupe d'Experts Recherche (GER) constitué d'une trentaine de personnalités couvrant la gamme des disciplines à mobiliser, appartenant à un large éventail d'organismes et apportant leur expérience de la R&D dans une diversité de filières et de territoires. Le GER a reçu la triple mission d'identifier les priorités d'un Programme scientifique Écophyto recherche, de mobiliser et animer les communautés scientifiques autour de ces priorités et de tirer le bilan des résultats produits en contribuant à leur diffusion, leur appropriation et leur finalisation jusqu'aux utilisateurs.

Pour élaborer le Programme scientifique, le GER est parti d'un inventaire pragmatique des besoins exprimés par des acteurs engagés dans la réalisation du plan Écophyto, à l'aide d'enquêtes et de réunions thématiques *ad hoc*. Il a conduit collectivement une analyse des approches pertinentes pour répondre à ces besoins afin de formuler des questions à adresser à la recherche. Il a priorisé ces questions en termes d'importance des sujets et d'urgence à y répondre et il les a organisées en huit chapitres thématiques qui explicitent la cohérence entre besoins du plan et travaux appelés. Construit progressivement à partir de 2011, le Programme a été utilisé au fur et à mesure comme source de questions adressées à la communauté de recherche à travers différents appels à projets (APR).

Le Programme scientifique complet<sup>3</sup> a été rendu public à l'occasion du Colloque Écophyto recherche des 13 et 14 octobre 2015. Nous en donnons ici une présentation synthétique montrant comment les

---

<sup>1</sup> Règlement R(CE) 1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques

<sup>2</sup> L'axe recherche d'Écophyto est piloté par la Direction générale de l'enseignement et de la recherche (DGER – Sous-Direction de la recherche, de l'innovation et des coopérations internationales) du MAAF

<sup>3</sup> [http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/Programme\\_scientifique.VF\\_.pdf](http://www.ecophytopic.fr/sites/default/files/Programme_scientifique.VF_.pdf)

priorités retenues dans les huit chapitres thématiques contribuent à répondre aux interrogations stratégiques que soulève la transformation de la protection des cultures : (1) Quels changements sont à opérer par rapport au modèle conventionnel fondé sur la lutte chimique<sup>4</sup> : comment réduire la dépendance de l'agriculture aux pesticides, comment mieux évaluer les risques induits par les bioagresseurs, comment limiter l'impact des pesticides qui continueront à être utilisés ? (2) Quels processus (concernant le comportement des acteurs et le rôle des politiques publiques) sont à mettre en œuvre pour réaliser cette transition ? (3) Comment anticiper les évolutions futures et évaluer la soutenabilité de modèles alternatifs de gestion de la santé des plantes ? (Tableau 1)

Interrogations stratégiques					
	Quels changements opérer ?			Comment mettre en œuvre la transition ?	Comment anticiper les évolutions futures ?
	Pour réduire la dépendance aux pesticides ?	Pour surveiller les bioagresseurs ?	Pour réduire les risques et effets liés aux pesticides ?		
Chapitres thématiques	II - Conception et mise au point de solutions intégrées de protection des cultures	I - La surveillance biologique du territoire: de l'observation à la décision	VIII - Exposition aux pesticides agricoles et effets sur la santé humaine	V - Les dimensions socioéconomiques des transitions	IV - Durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte et robustesse des systèmes de culture
			VII - Des usages aux impacts: les indicateurs	VI - Les dispositifs incitatifs de politique publique et leur mobilisation	
	III - Diversification des méthodes de lutte : 1. Matériel génétique cultivé - 2. Biocontrôle		III 3. Développement et combinaison d'outils dans le cadre de l'agriculture de précision		

**Tableau 1 :** Les 8 chapitres thématiques du Programme et leur contribution aux interrogations stratégiques soulevées par la transformation de la protection des cultures.

## 1. Réduire la dépendance aux pesticides

Des décennies d'utilisation intensive des pesticides ne les ont pas rendus moins indispensables, bien au contraire, comme l'illustrent les impasses techniques où se retrouvent parfois les agriculteurs privés de solution chimique par l'apparition de résistances ou le retrait de certaines substances. En affichant clairement l'objectif de réduire la dépendance de l'agriculture à l'égard des pesticides, les mesures réglementaires tant nationales qu'européennes<sup>5</sup> ne visent pas seulement à éviter que des agriculteurs utilisent plus de pesticides que nécessaire dans leurs conditions actuelles, mais à faire évoluer ces conditions pour leur permettre d'assurer une protection efficace de leurs cultures avec un moindre recours aux outils chimiques. Identifier les mécanismes qui ont concouru à créer cette dépendance indique comment agir pour engager une évolution inverse.

<sup>4</sup> Ces changements répondent en particulier à l'application des principes de la protection intégrée qui s'imposent à l'agriculture européenne depuis 2014 et dont on trouvera une analyse dans Barzman *et al.*, 2015.

<sup>5</sup> En particulier la Directive cadre 2009/128/EC pour une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable.

### 1.1 Diversifier l'offre en méthodes de lutte alternatives

L'innovation phytosanitaire s'est focalisée pendant 40 ans sur la découverte de nouveaux pesticides, tandis que les méthodes non chimiques étaient marginalisées. De ce fait, l'offre en méthodes alternatives performantes reste insuffisante par rapport aux usages à couvrir. Réduire cette source de dépendance nécessite de générer un flux d'innovations qui apporte aux agriculteurs un choix diversifié de solutions qu'ils pourront adapter à leur contexte et à leurs objectifs. L'innovation variétale, le biocontrôle, les méthodes physiques et les pratiques agronomiques sont autant de domaines pouvant contribuer à ces alternatives. Chacun de ces domaines a connu des avancées scientifiques et des progrès méthodologiques et techniques qui portent en germe une diversité considérable de pistes. La priorité aujourd'hui pour la recherche est de concrétiser ces potentialités sous forme d'innovations répondant aux besoins des utilisateurs. La politique décidée à l'échelle européenne (« paquet pesticides ») crée pour ces innovations l'opportunité d'un marché en fort développement qui devrait stimuler les initiatives industrielles, comme on le constate déjà dans le secteur des biopesticides ; c'est une occasion à saisir pour promouvoir de nouveaux partenariats de recherche public-privé.

Concernant l'**innovation variétale**, des décennies de recherche pour améliorer la résistance des espèces cultivées ont montré que les ressources en gènes de résistance sont limitées ; la sélection doit cibler une utilisation ingénieuse de ces ressources dans la construction de géotypes pour éviter leur contournement. On peut introduire aussi dans les nouvelles variétés d'autres traits qui contribuent à limiter l'effet des bioagresseurs : phénologie, architecture, ontogénie, défense et tolérance. Pour contribuer pleinement à la protection intégrée, la recherche en innovation variétale doit, outre l'élargissement des critères de sélection, englober trois éléments : (1) les technologies qui permettent d'assurer la qualité, en particulier sanitaire, des semences et des plants ; (2) l'utilisation optimale des nouvelles variétés dans les systèmes de culture, en particulier pour préserver leur résistance ; (3) le progrès agronomique et génétique des espèces de diversification dont on attend une contribution à la résilience des systèmes<sup>6</sup>.

**Le biocontrôle**, malgré l'abondance des travaux qui lui ont été consacrés et d'indéniables succès, reste un levier à ce jour insuffisamment mobilisé pour l'atteinte des objectifs du plan Écophyto (Herth, 2011). Il faut faire en sorte de disposer d'une offre plus complète de méthodes fiables pouvant s'imposer dans les filières les plus consommatrices de pesticides. Pour stimuler cet essor, quatre voies d'action ont été identifiées<sup>7</sup> : (1) diversifier et améliorer l'offre de méthodes, en déterminant les usages prioritaires pour les filières et en encourageant les prospections permettant d'élargir rapidement la base de ressources biologiques utilisables ; (2) améliorer la fiabilité des méthodes en portant plus d'attention à leur évaluation, à la définition du domaine de conditions dans lesquelles elles sont performantes et à l'analyse de leurs effets non intentionnels ; (3) étudier la façon dont la combinaison de différentes méthodes et les caractéristiques du système de culture peuvent potentialiser l'efficacité du biocontrôle ; (4) analyser les obstacles qui freinent son adoption par les agriculteurs et proposer des outils pour y remédier.

### 1.2 Raisonner la gestion des bioagresseurs dans une perspective élargie

La protection des cultures conventionnelle raisonne essentiellement en termes d'interventions tactiques et ciblées sur la culture en place dans sa parcelle pour prévenir des dommages imminents. Ce cadre restrictif favorise le recours aux pesticides, qui sont les plus aptes à agir dans ces conditions, et limite le choix des alternatives aux méthodes directement substituables à la lutte chimique. Il est possible de réduire cette source de dépendance en sortant de ce cadre et en adoptant une approche système qui vise à agir en amont sur la pression des bioagresseurs pour réduire durablement les risques phytosanitaires (Ricci et Messéan, 2015). On a alors accès à un éventail d'alternatives beaucoup plus

<sup>6</sup> Ces priorités sont affichées depuis plusieurs années dans l'APR Semences et innovation variétale du CASDAR

<sup>7</sup> Ces priorités ont fait l'objet en 2014 d'un APR spécifique Pour et Sur le Plan Écophyto (PSPE) : « Contribuer à l'essor du biocontrôle »

large et, en combinant des méthodes de lutte agissant à des stades et par des voies diverses dans des stratégies intégrées, il est possible d'obtenir des effets cumulatifs, voire synergiques. Pour favoriser l'adoption des méthodes non chimiques, la recherche et l'expérimentation doivent s'intéresser à l'intégration cohérente des méthodes individuelles de lutte et fournir aux agriculteurs les clés pour reconstituer leur stratégie de phytoprotection autour des nouveaux outils qui leur sont proposés.

L'approche système conduit à considérer les échelles de temps et d'espace pertinentes au regard de l'écologie des bioagresseurs, mais aussi des actions humaines. À ce titre, le rôle des caractéristiques de l'espace et du paysage sur la propagation et le développement des populations de bioagresseurs est un champ de recherche qui doit être fortement développé : leur influence est présumée importante, mais reste trop mal connue pour que les possibilités d'action que recèlent l'aménagement du paysage et l'agencement spatial des systèmes de culture soient valablement exploitées.

### *1.3 Rendre les systèmes de culture plus robustes et plus résilients*

Nombre de modifications intervenues au fil du temps dans les systèmes de culture (raccourcissement des rotations et simplification des assolements, accroissement des densités de semis ou de plantation, intensification de la fertilisation, modification de la conduite des ligneux, introduction de variétés à forte sensibilité,...) ont eu pour conséquence d'accroître les risques liés aux bioagresseurs. Il en est de même de la transformation des systèmes de production avec l'homogénéisation liée au remembrement du parcellaire, la séparation de l'élevage et des grandes cultures et la réduction drastique de la main d'œuvre. Cette prise de risque a été gommée par une intensification concomitante de la lutte chimique. Ainsi, indirectement, l'évolution des systèmes agricoles a renforcé la dépendance aux pesticides. Pour réduire cette source de dépendance, il faut continuer à faire évoluer les systèmes en y introduisant maintenant comme un objectif majeur d'améliorer leur robustesse et leur résilience, c'est-à-dire de les rendre à la fois moins vulnérables aux effets des bioagresseurs et moins favorables à leur développement.

Le constat du lien entre système de culture et prévalence des bioagresseurs est à l'origine même du concept de protection intégrée. La valeur opérationnelle de ce levier pour réduire le recours à la lutte chimique, a été bien démontrée, surtout dans les agricultures du sud en milieu tropical. Dans le contexte européen plus intensif, les recherches se sont beaucoup focalisées sur l'agriculture biologique. L'objectif fixé par le plan Ecophyto de réduire fortement l'utilisation des pesticides sur l'ensemble de la ferme France nécessite de reconcevoir les systèmes de culture dominants pour une robustesse et une résilience accrues.

La recherche doit donc s'intéresser aux propriétés des systèmes de culture pour comprendre comment la diversité et l'organisation des espèces et variétés végétales d'une part et des pratiques agronomiques d'autre part peuvent être utilisées comme leviers pour gérer le développement des bioagresseurs et maintenir leurs inocula à un niveau faible. L'approche doit être multidisciplinaire - pour confronter les propriétés agronomiques du système aux caractéristiques biologiques, épidémiologiques et écologiques des bioagresseurs – et globale pour intégrer l'ensemble du cortège des bioagresseurs ainsi que la multiplicité des pratiques et leurs interactions.

### *1.4 Restaurer les services de régulation biologique par l'écosystème*

Avec l'homogénéisation des espaces cultivés, l'utilisation prolongée de pesticides a contribué à éroder la biodiversité, notamment celle qui, dans les écosystèmes terrestres, assure naturellement une régulation biologique des populations de bioagresseurs. À défaut de cette régulation, c'est davantage de lutte chimique qui est requise. En outre, les espaces adjacents aux cultures qui peuvent servir d'habitats pour cette biodiversité ont été souvent négligés, dégradés, voire détruits. Réduire cette source de dépendance consiste à restaurer la capacité de l'agroécosystème à fournir ce service de régulation (en même temps d'ailleurs que d'autres services écosystémiques utiles à l'agriculture : pollinisation, efficacité de l'eau et régulation des crues, fertilité du sol...). Des observations, en

agriculture biologique, montrent qu'une certaine restauration est possible lorsque la pression pesticide est très fortement diminuée. On manque encore de règles robustes permettant d'utiliser pleinement ce levier pour créer un contexte plus favorable aux méthodes alternatives.

La réduction de la dépendance à la lutte chimique a un rôle clé dans l'atteinte des objectifs du plan Écophyto à moyen terme. Elle appelle, nous l'avons vu, un champ de recherche vaste qui offre la perspective de voies de progrès multiples (loin des dilemmes auxquels se restreint parfois le débat : pesticides vs. biotechnologies, agriculture conventionnelle vs. biologique). Mais elle requiert une part significative de l'effort de recherche et une priorisation attentive des questions. Il ne faut se contenter ni de recommandations hâtives, trop générales pour être pertinentes, ni d'une collection de *success stories* peu transposables. Pour éviter ces écueils, on veillera à formaliser les démarches de conception de la protection intégrée et à combiner différentes approches : enrichir la base des connaissances nécessaires et l'organiser en élaborant un cadre conceptuel logique, développer une modélisation agroécologique adaptée tout en s'attachant à exploiter une large gamme de situations expérimentales et d'initiatives provenant des agriculteurs eux-mêmes. A cet égard, les réseaux Déphy (Fermes et Expé) mis en place par le plan constituent une ressource particulièrement pertinente<sup>8</sup>.

## 2. Surveiller les bioagresseurs et évaluer les risques qu'ils induisent

La surveillance des bioagresseurs est une composante essentielle de la protection intégrée. Au fil des années, des modèles épidémiologiques ont été élaborés qui permettent de simuler, donc de prévoir, le développement des maladies et ravageurs les plus importants en fonction de données essentiellement d'ordre climatique. Ces modèles sont la base d'outils d'aide à la décision dont la finalité est initialement d'aider les agriculteurs à positionner leurs traitements chimiques de façon optimale. Dans une optique de protection intégrée, l'objectif de la surveillance n'est pas seulement d'optimiser l'efficacité de la lutte chimique, mais d'estimer le risque que le niveau de développement du bioagresseur fait courir à la culture et de conditionner la décision d'intervention au cas où l'incidence prévisible des pertes de rendement (direct et différé sur les saisons futures) le justifie. Contribuer au perfectionnement des modèles épidémiologiques et à l'établissement du lien entre risque épidémique et risque économique pour définir des seuils d'intervention adaptés à chaque situation reste un domaine de recherche nécessaire, de même que l'intégration de paramètres paysagers dans les modèles de prévision.

Selon la Directive 2009/128/EC, les États membres « s'assurent que les utilisateurs professionnels aient à leur disposition l'information et les outils de surveillance des ennemis des cultures et de prise de décision ». Depuis 2010, la France dispose d'un **réseau d'épidémiosurveillance** (RES) ; en 2014, il a mobilisé 3 700 observateurs sur plus de 15 000 parcelles réparties sur l'ensemble des régions et il a publié près de 3 500 Bulletins de santé du végétal (BSV). La création dans le plan Écophyto de ce grand dispositif relativement inédit a suscité un ensemble de questions nouvelles adressées à la recherche. La priorité donnée à l'observation soulève plusieurs questions : (1) comment optimiser l'échantillonnage au niveau régional, (2) comment traduire les observations en une analyse de risque, publiée dans un BSV, en intégrant si besoin des outils complémentaires tels que des modèles épidémiologiques, et (3) comment exploiter cette information au niveau local (la parcelle de l'agriculteur) avant sa reprise éventuelle à une autre échelle de temps ou d'espace ? Le cas particulier des adventices a été adressé à la recherche et les résultats ont déjà donné lieu à la mise en place d'un dispositif dédié. En outre, il faut réfléchir dès maintenant à la façon dont le RES sera amené à évoluer

---

<sup>8</sup> L'appui à la production de références dans ce dispositif a fait l'objet en 2012 de priorités affichées dans un APR spécifique Pour et Sur le Plan Écophyto (PSPE) : « Pour et Sur trois dispositifs du Plan »

avec le développement d'outils moléculaires nouveaux permettant détection et identification précoces des bioagresseurs *in situ*<sup>9</sup>.

Une caractéristique des BSV est de ne pas comporter de préconisation de traitement afin de bien maintenir le découplage (et donc l'indépendance) entre les actions d'information et de conseil. Il appartient aux agriculteurs, avec le concours de leurs conseillers, d'exploiter les informations du BSV et d'autres sources, notamment le site Écophyto-PIC, pour décider de la meilleure façon de gérer le risque. La recherche doit aider à mieux comprendre comment se fait la prise de décision, tant du point de vue des seuils et autres repères fournis aux agriculteurs que de la façon dont ceux-ci raisonnent leurs pratiques, ainsi que le rôle des structures professionnelles locales, qui sont souvent partenaires de l'établissement du BSV. La finalité de ces recherches devrait être de déterminer la contribution que peut apporter le BSV au choix d'alternatives non chimiques ou de stratégies préventives.

Enfin, le RES est maintenant inclus dans un dispositif plus large de Surveillance biologique du territoire qui s'intéresse aux effets non intentionnels sur la biodiversité, ce qui soulève aussi des questions méthodologiques.

### 3. Réduire les risques et effets liés à l'emploi des pesticides

La protection intégrée n'exclut pas les pesticides. Même si c'est en dernier recours, ils continueront à être utilisés. Il faut donc limiter les risques et les effets sur la santé humaine et sur l'environnement liés à leur emploi.

Le premier levier utilisé à cette fin est le **renouvellement du portefeuille des produits phytopharmaceutiques** homologués, avec le retrait progressif des substances les plus préoccupantes et des contraintes strictes imposées aux substances nouvelles quant à leur dangerosité intrinsèque : c'est l'enjeu des nouvelles règles d'homologation fixées par le Règlement R(CE) 1107/2009. Il en résulte un défi considérable pour l'innovation en matière de pesticides qui suppose d'identifier de nouveaux modes d'action pour trouver des substances à toxicité et écotoxicité réduites. Ce défi concerne au premier chef l'industrie phytosanitaire, mais il devrait inciter aussi la recherche publique à intensifier son effort d'investigation sur les processus fondamentaux gouvernant la biologie des bioagresseurs et leurs interactions avec les plantes, ces connaissances d'amont étant d'ailleurs utiles également, dans le domaine du biocontrôle, pour l'innovation en matière de biopesticides.

Une évaluation correcte des risques liés aux pesticides et une bonne connaissance de leurs effets sont des préalables indispensables pour prendre les mesures propres à améliorer leur utilisation. Dans le cadre des politiques environnementales, la réalisation de diagnostics et le suivi de la mise en œuvre de ces mesures nécessitent de disposer d'une **panoplie d'indicateurs de risque et d'impact**. Au vu de l'abondance des outils déjà élaborés, les priorités actuelles pour la recherche sont plutôt le développement de méthodologies pour guider l'usage des indicateurs : choix pertinent selon les objectifs visés et les échelles spatio-temporelles concernées, validation, intégration des réponses et interprétation des résultats. Le suivi des impacts doit fournir des indications sur les modifications souhaitables des pratiques ; pour cela, on a également besoin de projets contribuant à élucider les liens de causalité, souvent complexes, entre pratiques et impacts<sup>10</sup>.

**Les impacts des pesticides sur la santé humaine** représentent une préoccupation majeure de la société (INSERM, 2013). Alors que l'exposition des consommateurs et de la population générale est inscrite dans les objectifs du Plan National Santé Environnement, celle des populations les plus directement exposées aux pesticides (personnes travaillant en agriculture ou résidant sur les

<sup>9</sup> L'appui à l'optimisation, à la valorisation et à l'évolution du réseau d'épidémiologie a fait l'objet en 2012 de priorités affichées dans un APR spécifique Pour et Sur le Plan Écophyto (PSPE) : « Pour et Sur trois dispositifs du Plan »

<sup>10</sup> L'appui à l'amélioration d'un système d'indicateurs de pression et d'impact a fait l'objet en 2012 de priorités affichées dans un APR spécifique Pour et Sur le Plan Écophyto (PSPE) : « Pour et Sur trois dispositifs du Plan »

exploitations et riverains) et ses conséquences sur leur santé reste insuffisamment étudiée ; elle relève des priorités d'Écophyto. A cette fin, on exploitera les systèmes de surveillance épidémiologique, et on estimera les risques pour la santé par des approches épidémiologiques et toxicologiques et on produira des jeux de données en situation réelle d'utilisation des pesticides. Les sorties attendues doivent conduire à des propositions d'action de prévention. En effet, l'incapacité actuelle de la communauté scientifique à relier itinéraire technique et exposition de l'applicateur ne permet pas d'orienter le choix des itinéraires techniques dans un objectif d'exposition réduite. En outre, dans les travaux visant à réduire les expositions, dans l'amélioration des équipements de pulvérisation par exemple, on veillera à ce que soient envisagés conjointement les enjeux environnementaux et sanitaires.

Les travaux réalisés sur **le transfert et le devenir des pesticides dans l'environnement** et la contamination des écosystèmes, notamment les recherches soutenues en France depuis 15 ans par le programme « Pesticides » du MEDDE (Charbonnier *et al.*, 2015), fournissent une base de connaissances pour optimiser les modalités d'application vis-à-vis des risques pour l'environnement. Dans le plan Écophyto, la mise en œuvre concrète de telles mesures donne d'ailleurs lieu à des contrôles et à de la formation dans le dispositif Certiphyto. Mais on peut encore progresser grâce aux perfectionnements que connaissent les agroéquipements pour l'agriculture de précision : capteurs pour la détection des bioagresseurs, outils de géolocalisation et de guidage, TIC<sup>11</sup> permettant d'acquérir, traiter et exploiter des bases de données massives, perfectionnement de la précision des matériels de pulvérisation grâce au couplage à l'informatique embarquée. En combinant ces perfectionnements à l'élaboration d'un raisonnement agronomique affiné et adapté à ces nouvelles possibilités d'intervention, on permettra une économie de pesticides et une réduction des contaminations considérables. Ces recherches peuvent aussi ouvrir la voie à des méthodes non chimiques (en matière de désherbage ou d'application de produits de biocontrôle, par exemple)<sup>12</sup>.

#### 4. Comprendre le comportement des acteurs dans les processus de transition

La mise en œuvre effective de tous ces changements est entre les mains d'acteurs multiples, en premier lieu des agriculteurs, décisionnaires dans leurs exploitations agricoles<sup>13</sup>. Mieux comprendre les déterminants des comportements et de la prise de décision de ces acteurs est indispensable à la réalisation du plan, ce qui amène à solliciter l'ensemble des disciplines des sciences humaines. Les évolutions impulsées par le plan Écophyto et en particulier les grands dispositifs qui lui sont associés (Réseaux Déphy, RES, Certiphyto) et qui tous visent à mobiliser les acteurs autour de la transformation de la protection des plantes, ne doivent donc pas être vus seulement sous leur angle technique. Ils constituent pour les sociologues et les économistes des terrains d'observation exceptionnels.

**La diversité de comportement des agriculteurs** vis-à-vis de l'utilisation des pesticides et de la transformation de leurs pratiques a déjà suscité l'intérêt d'économistes, de sociologues, d'anthropologues, voire de philosophes. Les recherches ont mis en exergue l'importance des trajectoires de changement et le rôle des réseaux d'agriculteurs. Ces travaux méritent d'être poursuivis pour essayer particulièrement de comprendre comment s'articulent les facteurs de motivation individuels et les éléments contextuels : contraintes ou opportunités d'ordre agronomique, économique, organisationnel et relationnel propres à une filière ou un territoire.

Le passage de la lutte chimique à des stratégies alternatives s'accompagne d'un besoin accru de connaissances et d'une plus grande appropriation de celles-ci par les utilisateurs eux-mêmes qui sont davantage appelés à combiner des innovations et à juger de leur adéquation à leur contexte propre.

<sup>11</sup> Technologies de l'information et de la communication.

<sup>12</sup> Certaines de ces priorités ont été affichées dans l'APR Innovations technologiques du CASDAR.

<sup>13</sup> Dans les jardins, espaces verts et infrastructures (JEVI), la décision est entre les mains des gestionnaires des collectivités et des infrastructures de transport... et aussi des jardiniers amateurs

Ceci conduit à s'intéresser aux processus d'apprentissage et de formation et, tout particulièrement, aux **dynamiques de co-innovation** qui font participer les utilisateurs à la construction des innovations et aux choix stratégiques les concernant. On sort du traditionnel schéma diffusionniste d'innovations fournies clé en main, ce qui doit amener le système de recherche-développement à s'interroger sur son propre rôle et sa nécessaire évolution pour être un moteur de la transition.

La recherche a aussi un rôle à jouer pour identifier les conditions favorables à l'essor des méthodes alternatives pour lesquelles **la chaîne de l'innovation** (conception, développement, homologation, expérimentation...) obéit à des règles différentes de celles qui se sont imposées avec l'agrochimie (règles qui ont par le passé contribué à la marginalisation des alternatives) ; ceci suppose que les responsables de la réglementation, de l'évaluation, de l'homologation et de l'inscription variétale, de l'expérimentation et du conseil soient eux aussi partie prenante du changement. De même, la transition vers des systèmes de culture plus résilients n'est possible qu'en mobilisant de façon simultanée et coordonnée des acteurs multiples pour mettre en place et soutenir des filières de diversification (Meynard *et al.*, 2013).

Ainsi l'agriculteur, bien qu'au centre du processus décisionnel, n'en est pas moins contraint dans ses choix par le **fonctionnement du système sociotechnique** dans lequel il est inséré. Les règles de ce système, façonnées depuis des décennies en fonction de la lutte chimique, sont souvent des freins au changement ; *a contrario*, il est nécessaire d'identifier comment les différents acteurs de ce système peuvent être entraînés dans la démarche de réduction de la dépendance aux pesticides et contribuer à la dynamique d'Écophyto. Le fonctionnement de l'aval des filières, avec la définition de normes de qualité (dont les exigences ont souvent contribué à accroître l'utilisation des pesticides) et de cahiers des charges, et le rôle des transformateurs, des distributeurs et finalement des consommateurs méritent davantage d'investigations.

Il en est de même de **l'échelle territoriale** où se nouent des relations entre acteurs, y compris hors du monde agricole, et où peuvent se développer certaines modalités de gestion phytosanitaire relevant de l'aménagement de l'espace et du paysage, mais aussi d'un déploiement mieux maîtrisé des innovations variétales et/ou phytosanitaires.

## 5. Eclairer le rôle des politiques publiques

Les politiques publiques spécifiquement dédiées à encourager la réduction des pesticides, dont le plan Écophyto, sont évidemment des moteurs majeurs de la transition. La recherche est sollicitée pour en analyser les effets, pour expérimenter de nouveaux dispositifs et pour réfléchir aux évolutions futures. Par exemple, la mise en œuvre de "certificats d'économie de produits phytosanitaires" (CEPP)<sup>14</sup>, qui identifie le rôle des distributeurs dans le processus décisionnel des exploitants agricoles, soulève des questions scientifiques et techniques qui relèvent de la recherche Écophyto. Or, ces politiques incitatives s'inscrivent dans un contexte où d'autres politiques, ainsi que les marchés, affectent les décisions des agriculteurs, prioritairement parfois, de manière cohérente ou contradictoire. Il est nécessaire d'éclairer ces interactions complexes dans l'analyse des effets des politiques liées aux pesticides.

La territorialisation de ces politiques est un élément essentiel qui invite à faire, entre autres, un bilan des dispositifs existants et à réfléchir à des contrats agro-environnementaux innovants allant plus loin dans l'incitation à la modification des pratiques. Celle-ci suppose aussi une évolution dans la nature du conseil aux agriculteurs (moins tactique et plus stratégique) qui mérite d'être analysée, ainsi que l'évolution dans le métier de conseiller qui en résulte. Comment les politiques publiques peuvent-elles favoriser cette évolution, compte tenu de la diversité des organismes investis dans cette activité ?

<sup>14</sup> Permise par la loi d'avenir du 13 octobre 2014

L'accompagnement des agriculteurs dans la transition doit être vu également sous l'angle des dispositifs pouvant les aider à franchir la prise de risques que représente l'adoption de méthodes alternatives, en considérant l'intérêt et les moyens de donner à ces mesures une dimension collective.

Finalement, alors que l'action publique agro-environnementale devient davantage co-construite, que ses mécanismes se complexifient et que ses instruments se diversifient, la recherche est amenée à s'intéresser à l'évaluation de l'action publique. De même, devrait-on développer une méthodologie pour l'expérimentation de dispositifs de politiques publiques en situation réelle.

## 6. Anticiper les évolutions futures

Alors que la nature des changements à opérer en protection des cultures et la façon de mobiliser les acteurs pour réussir la transition accaparent l'attention, la question de savoir si les solutions élaborées aujourd'hui seront soutenables à terme reste relativement négligée. L'attention se porte surtout sur la **durabilité des stratégies de protection au regard de l'évolution des bioagresseurs**. Si l'utilisation des méthodes de lutte induit nécessairement une évolution des populations de bioagresseurs, des modes de gestion appropriés peuvent permettre d'en limiter l'importance. L'expérience de la difficile gestion de la résistance aux pesticides et du contournement des résistances variétales explique la priorité donnée à ces sujets. Ceux-ci méritent réexamen dans le contexte nouveau créé par Écophyto et le paquet pesticides européen : réduction de la diversité des substances disponibles et modifications de leur usage, contribution accrue du levier génétique, essor du biocontrôle. Il faut en outre passer de la question de la durabilité de chaque méthode de lutte, considérée individuellement, à la problématique (plus complexe et encore mal connue) de l'effet global que des combinaisons de méthodes de lutte différentes peuvent exercer sur les bioagresseurs.

**Le changement climatique** combiné à la globalisation des échanges est une autre source d'évolution des risques phytosanitaires auxquels l'agriculture doit faire face. L'arrivée d'un nouveau bioagresseur (espèce nouvelle ou génotype nouveau d'espèce préexistante) peut compromettre un système de protection intégrée bien rodé. Le rythme accru des invasions constaté ces dernières années nécessite d'intensifier les recherches sur les méthodes permettant de surveiller et de détecter précocement les invasions, mais aussi d'anticiper des réponses adaptées aux envahisseurs potentiels particulièrement préoccupants. La recherche sur les systèmes de culture robustes devrait en particulier intégrer ces risques potentiels, ainsi que l'accroissement probable des aléas climatiques (Lamichhane *et al.*, 2014).

Cette démarche d'anticipation mériterait d'être appliquée plus largement à **l'analyse des facteurs qui peuvent favoriser ou compromettre différents modèles de protection des cultures**. Alors que le modèle conventionnel était relativement uniforme, ni le nouveau cadre réglementaire, ni la façon dont s'organisent les acteurs pour le mettre en application ne définissent un modèle alternatif unique. Une étude prospective (Labussière *et al.*, 2010) souligne au contraire la pluralité des modèles qui peuvent se concevoir et, éventuellement, coexister, en l'illustrant par des scénarios contrastés selon les composantes de la protection intégrée qui sont privilégiées : (1) une lutte directe aux risques maîtrisés, (2) des interventions circonscrites grâce à une épidémiosurveillance perfectionnée, (3) des systèmes robustes conçus pour minimiser la lutte chimique, (4) l'exploitation des services de l'écosystème pour créer un contexte à faible pression de bioagresseurs. Selon les pays, les territoires ou les filières, on voit d'ailleurs émerger actuellement des ébauches de ces options.

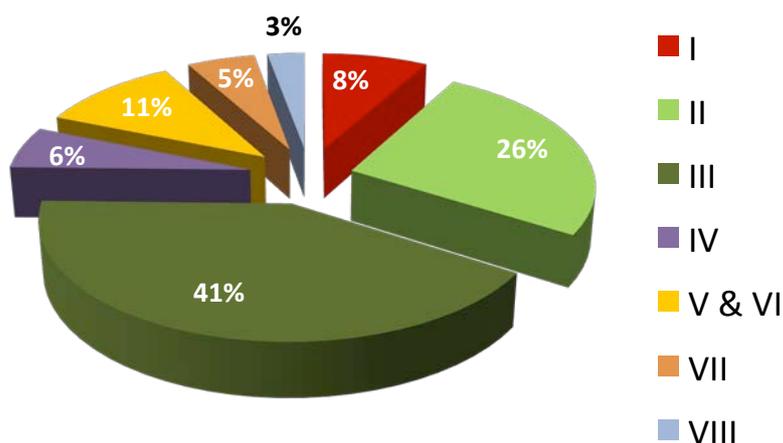
Un enseignement tiré de cette étude prospective est que les déterminants majeurs du fonctionnement de ces modèles sont largement extérieurs au champ de la santé des plantes. Le rapport Potier (2014) constate d'ailleurs que des leviers de premier ordre dans la transformation de la protection des cultures (PAC, autres politiques publiques, fonctionnement des filières et rôle de l'aval, image de l'agriculture dans la société) ont jusqu'ici échappé à l'influence du plan Écophyto. La recherche apporterait certainement un éclairage utile aux choix que les acteurs sont amenés à opérer dans la phase de

transition si elle réussissait à cerner les facteurs et conditions permettant à des modèles de protection des cultures de constituer à terme des solutions soutenables.

## Conclusion et perspectives

Partant du constat que le portefeuille de connaissances, de méthodologies et d'innovations généré antérieurement au plan n'était ni suffisant, ni adapté à l'atteinte des objectifs d'Écophyto, l'élaboration d'un Programme scientifique visait à focaliser l'effort de recherche sur les questions jugées prioritaires par les acteurs de la mise en œuvre du plan, tout en couvrant l'ensemble des interrogations stratégiques que soulève la transformation de la protection des cultures. Au cours des cinq années passées, les priorités identifiées dans le Programme ont été régulièrement transmises aux communautés scientifiques au travers d'une douzaine d'APR<sup>15</sup> qui les ont intégrées dans leurs objectifs respectifs, ce qui a permis de mobiliser la recherche bien au-delà du champ de la santé des plantes et de l'agronomie. Subsidiairement, la DGER a été conduite à lancer un APR spécifique « Pour et sur le Plan Écophyto » (PSPE) sur des priorités particulières identifiées par le GER et non couvertes explicitement par les autres APR : l'appui aux dispositifs majeurs du plan (PSPE 1 en 2012) et l'essor du Biocontrôle (PSPE 2 en 2014).

Qu'ils aient été retenus dans les APR PSPE ou dans d'autres APR mobilisés par le GER, les projets de recherche qui répondent aux priorités du Programme scientifique et aux exigences de pluridisciplinarité et de partenariat multiple indiquées en introduction ont été considérés comme « labellisés Écophyto » et ont pu bénéficier, en tout ou partie, de crédits issus de la redevance pour pollution diffuse. Toutes sources de financement confondues, le soutien apporté à ces projets a représenté en moyenne 7 M€/an entre 2008 et 2015. A ce jour, près de 200 projets ont été labellisés, dont près de la moitié sont achevés, ce qui démontre qu'une véritable dynamique de recherche s'est mise en place autour des objectifs du plan Écophyto. La répartition des financements (Figure 1) indique que les deux tiers des subventions sont allés à des projets relevant des chapitres II (« Solutions intégrées ») et III (« Diversification des méthodes de lutte »), en accord avec le rôle clé de l'enjeu de réduction de la dépendance aux pesticides, mais des soutiens significatifs ont été apportés à tous les autres chapitres thématiques.



**Figure 1** Répartition des financements attribués aux projets « labellisés » Écophyto par chapitre thématique du Programme scientifique (entre 2008 et 2015, 192 projets ont reçu une subvention totale - toutes sources de financement confondues - de 47,9 M d'euros).

<sup>15</sup> Notamment, l'APR Pesticides-Écophyto du MEDDE, le programme Environnement Santé Travail de l'ANSES, les appels à projets « innovation et partenariat », « semences et sélection végétale », « recherche finalisée et innovation » devenu « recherche technologique » du CASDAR et plusieurs programmes de l'ANR (dont Systerra, Agrobiosphère et Productions durables).

Les résultats présentés lors du Colloque Écophyto recherche d'octobre 2015 ont bien illustré les réelles avancées réalisées dans les différents domaines grâce à cet effort de recherche. La poursuite et l'intensification de cet effort sont considérées comme un facteur essentiel de succès pour suite du plan Écophyto dont la deuxième phase débute maintenant. Dans le plan Écophyto II, un axe est effectivement consacré à la recherche et à l'innovation (R&I)<sup>16</sup>. L'objectif poursuivi est de rendre possible, par l'avancée des connaissances scientifiques et des innovations techniques, une mutation des systèmes de production et de gestion de l'espace vers plus d'autonomie vis-à-vis des intrants, permettant de viser une diminution de 50% des usages de pesticides à l'horizon 2025.

Le Comité Scientifique d'Orientation « Recherche – Innovation » (CSO R&I) qui va succéder au GER a pour mission première d'élaborer une stratégie nationale de R&I répondant à cet objectif. Il pourra s'appuyer pour cela sur le travail de programmation scientifique réalisé dans la première phase du plan, ainsi que sur les expériences acquises par ailleurs, notamment dans le cadre du programme « Pesticides » du ministère chargé de l'écologie (Charbonnier *et al.*, 2015). La mobilisation de la recherche au travers d'une gamme d'appels d'offres sera poursuivie, avec une impulsion particulière donnée, sous forme de programmes de recherche-développement à forte visée opérationnelle, à quatre secteurs correspondant à des leviers majeurs pour réduire et améliorer l'usage des produits phytosanitaires, agricoles et non agricoles, déjà bien identifiés dans le Programme : le biocontrôle, les agroéquipements, l'innovation variétale et la gestion durable de la flore adventice, auquel s'ajoutera un cinquième programme sur les solutions techniques substitutives dans les jardins, espaces végétalisés et infrastructures (JEVI).

L'expérience française n'est pas isolée et les autres pays de l'Union Européenne sont confrontés à des défis similaires. Le Réseau européen ENDURE<sup>17</sup> et le Programme collaboratif PURE<sup>18</sup> ont démontré la valeur ajoutée d'une mutualisation des recherches sur nombre de sujets liés à la protection intégrée. L'implication, initiée par le GER, dans l'élaboration de l'agenda de recherche stratégique européen élaboré par l'ERA-Net C-IPM<sup>19</sup> et dans ses appels à projets sera encore intensifiée.

Dans cette présentation, nous avons insisté sur le Programme scientifique et sa déclinaison en projets. La contribution de l'axe Recherche au plan Écophyto ne s'arrête pas là. Il est indispensable de promouvoir les sorties opérationnelles des projets pour qu'elles soient mises à l'épreuve du terrain et que les agriculteurs et les gestionnaires puissent les intégrer dans leurs pratiques. A cet effet, l'intensification du lien à l'enseignement agricole et à la formation et le renforcement de la dimension partenariale de la recherche – entre public et privé, entre conception et expérimentation, entre experts et praticiens innovants, avec en particulier la mobilisation des dispositifs Déphy Fermes et Déphy Expé – seront parties intégrantes de la stratégie nationale de R&I. C'est à ce prix que la recherche soutenue par Écophyto contribuera efficacement à offrir des solutions durables pour un renouvellement de la gestion de la santé des plantes.

**Remerciements** : L'auteur remercie l'ensemble des experts du GER qui ont contribué à l'élaboration du Programme scientifique qui est à la base de cet article, tout particulièrement Isabelle Baldi (Univ. Bordeaux), Alain Baranger (INRA), Jean Boiffin (INRA), Thierry Caquet (INRA), Christian Huyghe (INRA), Florence Jacquet (Montpellier SupAgro), Claire Lamine (INRA), Antoine Messéan (INRA), Philippe Nicot (INRA) et Bernadette Ruelle (IRSTEA) qui ont coordonné la rédaction des différents chapitres, ainsi que Gérard Gautier-Hamon (DGER-MAAF) et Laure Dreux (INRA) pour leur contribution constante au travail du GER et pour la révision de cette présentation synthétique.

<sup>16</sup> Le Plan Écophyto II, publié le 25 octobre 2015, est disponible à l'adresse [http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/151022\\_ecophyto.pdf](http://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/151022_ecophyto.pdf)

<sup>17</sup> European Network for the Durable Exploitation of Crop Protection Strategies – <http://www.endure-network.eu/>

<sup>18</sup> Innovative crop protection for sustainable agriculture - <http://www.pure-ipm.eu/>

<sup>19</sup> Coordinated Integrated Pest Management in Europe – <http://c-ipm.org/>

## Références bibliographiques

- Barzman M., Bàrberi P., Birch A.N.E., Boonekamp P., Dachbrodt-Saaydeh S., Graf B., Hommel B., Jensen J.E., Kiss J., Kudsk P., Lamichhane J.R., Messean A., Moonen A.C., Ratnadass A., Ricci P., Sarah J.L., Sattin M., 2015. Eight principles of integrated pest management. *Agron. Sustain. Dev.* DOI 10.1007/s13593-015-0327-9
- Charbonnier E., Ronceux A., Carpentier A.-S., Soubelet H., Barriuso E., 2015. Pesticides, des impacts aux changements de pratiques. Éditions Quæ, Collection Savoir-faire
- Herth A., 2011. Le bio-contrôle pour la protection des cultures : 15 recommandations pour soutenir les technologies vertes. Rapport au Premier Ministre. <http://agriculture.gouv.fr/ministere/le-bio-contrôle-pour-la-protection-des-cultures>.
- INSERM, 2013. Pesticides : Effets sur la santé. <http://www.inserm.fr/thematiques/sante-publique/expertises-collectives>.
- Labussière E., Barzman M., Ricci P., 2010. European Crop Protection in 2030, ENDURE Foresight study. Published by INRA. [http://www.endure-network.eu/about\\_endure/all\\_the\\_news/available\\_now\\_european\\_crop\\_protection\\_in\\_2030](http://www.endure-network.eu/about_endure/all_the_news/available_now_european_crop_protection_in_2030)
- Lamichhane J.R., Barzman M., Booij K., Boonekamp P., Desneux N., et al., 2014. Robust cropping systems to tackle pests under climate change. A review. *Agron. Sustain. Dev.* DOI 10.1007/s13593-014-0275-9.
- Meynard J.-M., Messéan A., Charlier A., Charrier F., Farès M., Le Bail M., Magrini M.-B., Savini I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures. Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières. Synthèse du rapport d'étude, INRA, 52 p.
- Potier D., 2014. Pesticides et agro-écologie, les champs du possible. Rapport au Premier Ministre. <http://agriculture.gouv.fr/ministere/pesticides-et-agro-ecologie-les-champs-du-possible>
- Ricci P., Bui S., Lamine C., 2011. Repenser la protection des cultures : innovations et transitions. Ed.Educagri/Quae, 250 p.
- Ricci P., Messéan A., 2015. Stratégies intégratives et innovations systémiques : sortir du cadre. *Innovations Agronomiques* 46, 147-155.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)