



Recherche et innovation dans le plan Ecophyto - Programme scientifique

Isabelle Baldi, Alain Baranger, Jean Boiffin, Thierry Caquet, Christian C. Huyghe, Florence F. Jacquet, Claire Lamine, Antoine A. Messean, Philippe C. Nicot, Pierre Ricci, et al.

► To cite this version:

Isabelle Baldi, Alain Baranger, Jean Boiffin, Thierry Caquet, Christian C. Huyghe, et al.. Recherche et innovation dans le plan Ecophyto - Programme scientifique. [0] Institut National de la Recherche Agronomique (INRA); Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA). 2015. hal-02801211

HAL Id: hal-02801211

<https://hal.inrae.fr/hal-02801211>

Submitted on 5 Jun 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.

RECHERCHE ET INNOVATION DANS LE PLAN ÉCOPHYTO

Programme scientifique



ÉCOPHYTO

RÉDUIRE ET AMÉLIORER
L'UTILISATION DES PHYTOS

RECHERCHE ET INNOVATION DANS LE PLAN ECOPHYTO

Programme scientifique

Auteurs : Isabelle Baldi (ISPED-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), Pierre Ricci (INRA), Bernadette Ruelle (IRSTEA)

Remerciements à l'ensemble des membres du Groupe Experts Recherche Écophyto pour leurs contributions.

Crédits photos © (couverture): Ministère chargé de l'agriculture : Xavier Remongin, Cheick Saidou, Pascal Xicluna; (texte): Ministère chargé de l'agriculture : Xavier Remongin, Cheick Saidou, Pascal Xicluna ; IFV-IRSTEA ; INRA: Jean Weber

Sommaire

Présentation synthétique du Programme scientifique	3
Chapitre I - La surveillance biologique du territoire : de l'observation à la décision	15
1 Optimiser et valoriser le réseau d'épidémio-surveillance.....	20
2 De l'évaluation du risque à la prise de décision.....	18
3 Elargissement de la surveillance	19
3.1 Aux adventices	19
3.2 Aux populations d'auxiliaires	20
3.3 Aux effets non intentionnels (ENI) sur la biodiversité fonctionnelle.....	20
Chapitre II – Conception et mise au point de solutions intégrées de protection des cultures	23
1 Formaliser et illustrer la conception des démarches de protection intégrée	24
2 Combler les lacunes des connaissances et références nécessaires à l'établissement des schémas de raisonnement de la protection intégrée	24
3 Développer une modélisation agroécologique adaptée à la conception de stratégies de protection intégrée	26
4 Mieux valoriser les situations expérimentales existantes et développer une nouvelle génération d'expérimentations, enquêtes et observatoires sur la protection intégrée.....	27
5 Appréhender les implications et impacts de la protection intégrée au niveau de l'exploitation agricole	29
Chapitre III - Diversification des méthodes de lutte et limitation des intrants phytosanitaires	33
1 Matériel génétique cultivé, semences et plants.....	33
1.1 Intégrer l'utilisation de nouvelles espèces en culture	33
1.2 Identifier de nouveaux leviers liés à la plante pour une limitation des intrants phytosanitaires.....	34
1.3 Identifier de nouveaux modes de déploiement et de combinaisons de ces espèces et de ces traits variétaux	36
2 Biocontrôle.....	37
2.1 Diversifier et améliorer l'offre des solutions de biocontrôle.....	38
2.2 Fiabiliser les solutions de biocontrôle en évaluant leurs performances et leurs effets non intentionnels	39
2.3 Elaborer des stratégies de protection intégrée valorisant la contribution du biocontrôle.	40
2.4 Faciliter et encourager l'adoption du biocontrôle par les agriculteurs	40
3 Développement et combinaison d'outils dans le cadre de l'agriculture de précision	41
Chapitre IV – Durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte et robustesse des systèmes de culture vis-à-vis de l'évolution des cortèges et populations de bioagresseurs	45
1 Prévenir le contournement des méthodes de lutte par une gestion durable	46

1.1	Conception et gestion des résistances variétales dans un objectif de durabilité.....	47
1.2	Prévention des résistances aux pesticides en lien avec l'évolution de la lutte chimique ...	48
1.3	Gestion durable du biocontrôle et des pratiques agronomiques.....	48
1.4	Raisonnement de la protection intégrée dans un objectif d'efficacité durable	49
2	Surveiller et anticiper l'évolution des bioagresseurs.....	49
2.1	Méthodes rapides d'identification pour améliorer la surveillance des émergences	50
2.2	Stratégies d'intervention permises par une détection des émergences en temps réel.....	50
2.3	Caractérisation des risques d'établissement de nouveaux bioagresseurs	50
3	Favoriser les arbitrages en faveur de la durabilité	51
Chapitre V – Les dimensions socio-économiques des transitions vers une protection économe en pesticides : changements des pratiques, conseil, formation, co-innovation, gouvernance et coordination des acteurs		53
1	L'agriculteur inscrit dans une trajectoire de changement des pratiques	53
2	Les dynamiques de co-innovation et le rôle des réseaux	54
3	Le fonctionnement du système sociotechnique et ses possibilités d'évolution	55
4	L'échelle territoriale	57
5	Les problématiques non agricoles	57
6	Les processus de transitions et modes de gouvernance	57
Chapitre VI - Les dispositifs incitatifs de politique publique et leur mobilisation pour inciter les agriculteurs à réduire leur utilisation de pesticides.....		59
1	Les articulations entre les politiques publiques d'incitation à la réduction de l'usage des pesticides et les autres politiques	59
2	La construction de contrats agro-environnementaux innovants.	60
3	Le conseil et l'accompagnement de la transition.	61
4	Evaluation et expérimentations de politiques publiques	63
Chapitre VII – Des usages aux impacts : les indicateurs		65
1	Rappel du cadre général et de l'état des lieux vis-à-vis du plan Écophyto.....	65
2	Identification et priorisation des besoins de recherche	66
Chapitre VIII - Exposition aux pesticides agricoles et effets sur la santé humaine.....		69
1	Evaluer des outils/systèmes de surveillance épidémiologique des populations exposées/développer des recherches utilisant ces bases de données.....	72
2	Estimer des risques de santé pour les populations professionnellement exposées	73
3	Produire des données concernant les expositions des personnes travaillant en agriculture, en situation réelle d'utilisation des pesticides agricoles.....	74
4	Développer et évaluer des actions de prévention permettant de diminuer les expositions	75

Présentation synthétique du Programme scientifique

LES ENJEUX DE RECHERCHE ET INNOVATION DANS LE PLAN ÉCOPHYTO

L'agriculture française est aujourd'hui engagée dans un processus de transformation, à la recherche de systèmes de production plus diversifiés, répondant à la démarche de l'agro-écologie et visant à atteindre une triple performance : économique, environnementale et sociale. **La protection des cultures, en particulier, est appelée à évoluer vers de nouvelles stratégies ne reposant plus prioritairement sur l'utilisation d'intrants pesticides.** La contamination persistante des milieux par les produits phytopharmaceutiques et leurs résidus, l'impact de ces produits sur la santé des écosystèmes et les présomptions croissantes quant à leurs effets sur la santé humaine génèrent en effet une attente forte des citoyens et des consommateurs pour un autre modèle de gestion des bioagresseurs des cultures : ravageurs, agents de maladies, plantes adventices.



La prise en compte de cette attente lors du « Grenelle de l'Environnement » a conduit en 2008 les pouvoirs publics à adopter **le plan Écophyto, avec l'objectif de réduire l'usage des produits phytosanitaires tout en maintenant un niveau élevé de production agricole.** Ce plan est en cohérence avec le cadre législatif renouvelé adopté en 2009 au niveau européen - le « paquet pesticides » - en particulier le Règlement R(CE) 1107/2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques, qui introduit des règles d'homologation plus restrictives, et la Directive cadre 2009/128/EC pour une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable ; cette Directive, dont le plan Écophyto constitue la déclinaison pour la France, impose notamment le respect depuis 2014 des principes de la Protection intégrée. Ces mesures spécifiques à la protection des cultures se combinent à d'autres réglementations environnementales, visant la préservation de la qualité des eaux, de la biodiversité..., qui s'imposent également à l'activité agricole, et ont de fortes implications sur la protection phytosanitaire.

Pour répondre à ces enjeux, il n'est pas suffisant d'améliorer l'usage des produits phytopharmaceutiques. Il faut réussir à diversifier les méthodes de lutte et **à élargir la gamme des leviers d'intervention sur les bioagresseurs**, notamment par des méthodes agronomiques et en mobilisant davantage les capacités de régulation biologique des écosystèmes. Plus largement, cela peut amener à **reconsidérer les systèmes de production** pour les rendre moins vulnérables et, par-là, moins dépendants de la lutte chimique. Cela implique également de **faire évoluer la formation et le conseil** fournis aux agriculteurs pour qu'ils acquièrent une meilleure appréhension de la réalité des risques phytosanitaires et des impacts de leurs pratiques, qu'ils disposent de références leur permettant d'introduire des solutions innovantes dans leurs systèmes de culture et qu'ils bénéficient d'un accompagnement qui les aide à repenser leur stratégie de gestion des bioagresseurs. Cela nécessite enfin de **considérer l'ensemble du contexte sociotechnique** des exploitations agricoles et d'identifier comment les processus de décision des différents acteurs publics et privés peuvent favoriser les transitions vers une approche renouvelée de la protection des cultures¹. Entre autres évolutions à envisager, la réduction de dépendance aux pesticides peut notamment impliquer le

¹ Ricci P. *et al.*, 2011 Repenser la protection des cultures : innovations et transitions. Ed.Educagri/Quae, 250 pp.

passage d'une protection phytosanitaire essentiellement décidée au niveau individuel et local, à une gestion phytosanitaire plus collective, se situant à des niveaux d'organisation plus diversifiés, tant au niveau des filières que des territoires.

L'expérience des premières années du plan Écophyto a largement conforté le constat que le portefeuille de connaissances, de méthodologies et d'innovations généré antérieurement, dans un contexte de recours prédominant à la protection chimique, n'était ni suffisant ni surtout adapté à l'atteinte des objectifs du plan. **La recherche a donc une contribution essentielle à apporter ; elle est même considérée comme un enjeu majeur pour la réussite de la deuxième phase d'Écophyto².** Mais ceci suppose que la recherche autour de la santé des plantes, qu'elle soit publique ou privée, se renouvelle elle-même, dans ses priorités comme dans ses méthodes. En effet :

- Des besoins de recherche inédits ont émergé du fait même de la mise en œuvre du plan Écophyto : par exemple, besoin d'explorer des champs de connaissances jusque-là négligés (tels que lien entre système de culture et évolution des bioagresseurs, ou entre biodiversité dans les agroécosystèmes et régulation naturelle) ; besoin de renforcer l'armature scientifique et méthodologique sur laquelle s'appuient les grands dispositifs du plan (tels que l'épidémiosurveillance ou les réseaux DEPHY) ; 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 le progrès des agroéquipements).
- La réponse à ces besoins amène à solliciter des champs disciplinaires et des communautés scientifiques dont l'éventail déborde très largement le domaine traditionnel de la santé des plantes et qui relèvent de différentes facettes de la biologie, de l'écologie, de l'agronomie, mais aussi des sciences humaines, économiques et sociales, ainsi que des sciences médicales ou encore des disciplines technologiques, afin d'apporter des éclairages nouveaux et de construire des démarches interdisciplinaires.
- Enfin, cette recherche vise à produire des sorties opérationnelles au bénéfice des objectifs du plan. Elle a donc besoin de s'ancrer dans l'expérience pratique des acteurs de terrain tout autant que dans les avancées conceptuelles et génériques de la recherche d'amont. Pour cela, elle est amenée à associer, dans un partenariat exigeant, acteurs du monde scientifique, de l'innovation et du développement.

C'est avec l'objectif de stimuler ce renouvellement de la recherche en santé des plantes qu'a été orientée l'action de l'axe Recherche du plan Écophyto.

LA MISE EN ŒUVRE DE L'AXE ÉCOPHYTO RECHERCHE

Dans le cadre d'Écophyto I, la Direction générale de l'enseignement et de la recherche (DGER – Sous-Direction de la recherche, de l'innovation et des coopérations internationales) du Ministère chargé de l'Agriculture, en charge de piloter l'axe dédié à la recherche (axe 3), a décidé de s'appuyer sur un **Groupe d'Experts Recherche (GER)** constitué d'une trentaine de personnalités couvrant la vaste 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. La mission dévolue au GER a été de promouvoir une recherche adaptée aux besoins d'Écophyto, ce qui l'a conduit à une triple action :

- **Identifier les priorités** pour l'élaboration d'un Programme scientifique Écophyto recherche. Une première version a été produite en 2011 et présentée au Comité d'Experts du plan dans le cadre d'une Feuille de route de l'axe 3. La présente version résulte d'un travail d'approfondissement et d'élargissement conduit par le GER entre 2013 et 2015.

² Pesticides et agro-écologie, les champs du possible, 2014. Rapport de M. le député D. Potier au Premier Ministre.

- **Mobiliser et animer les communautés scientifiques** autour de ces priorités, dont l’affichage a été délégué à une douzaine d’appels à propositions de recherche (APR) existants qui les ont intégrées dans leurs objectifs respectifs : notamment l’APR Pesticides-Écophyto du MEDDE, le programme Environnement Santé Travail de l’ANSES, les appels à projets du CASDAR, plusieurs programmes de l’ANR... ce qui a permis de diffuser largement les questions posées par Écophyto. 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).
- **Tirer le bilan des résultats produits** en contribuant à leur diffusion, leur appropriation et leur finalisation jusqu’aux utilisateurs. En particulier deux colloques Écophyto Recherche ont été organisés en 2013 et 2015 (avec diffusion des projets présentés dans la revue en ligne *Innovations Agronomiques*) et une base de données des projets labellisés par Écophyto est en cours d’achèvement.

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 plus haut 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 depuis 2008 dont 80 sont achevés.

LE PROGRAMME SCIENTIFIQUE ÉCOPHYTO RECHERCHE

Fruit du travail collectif du GER depuis 2010, le Programme scientifique, parallèlement à son enrichissement progressif, a servi à alimenter régulièrement les différents APR en questions de recherche prioritaires pour Écophyto. Dans la deuxième phase du plan Écophyto, il est appelé à servir de socle aux travaux du futur axe 2 et à nourrir l’élaboration d’une stratégie nationale de Recherche et d’Innovation.

Conçu pour promouvoir une recherche venant en appui aux objectifs du plan, ce programme présente quatre caractéristiques :

1. Il est construit à partir d’une analyse pragmatique des besoins exprimés par des acteurs engagés dans la réalisation du plan Écophyto. Une enquête, réalisée en 2011 et actualisée en 2013, auprès des pilotes des différents axes du plan et des membres du Comité d’Experts d’Écophyto (représentant une large gamme de parties prenantes) a permis d’identifier des points de blocage majeurs justifiant un appel à la recherche. Ce recueil des besoins opérationnels a été complété en suscitant des échanges de vues entre chercheurs, décideurs, industriels et praticiens autour de thématiques particulières (biocontrôle, agriculture de précision, instruments de politique publique).

2. Il reformule les besoins exprimés en questions dont la recherche peut se saisir. Grâce aux expertises diverses qu’il réunit (portant sur l’état des connaissances scientifiques et des dynamiques de recherche en cours, mais aussi sur les problématiques de terrain, les avancées du plan et les obstacles rencontrés, l’organisation des communautés disciplinaires, les aspects réglementaires...) le GER a réalisé une analyse collective des approches pertinentes pour apporter une réponse aux besoins opérationnels identifiés. Cette démarche fait d’Écophyto une source de questions de recherche originales et indique le trajet vers une déclinaison opérationnelle des résultats.

3. Il met en exergue des questions prioritaires (à la fois en termes d’importance des sujets et d’urgence à les traiter) et ne se propose donc pas de couvrir de façon exhaustive l’ensemble des recherches utiles. Le choix de priorités présenté dans ce document prend en compte l’évolution des besoins et les avancées réalisées depuis la version de 2011 ; il est appelé à continuer à évoluer.

4. Il propose une structuration thématique de ces priorités : au travers de 8 chapitres, elles sont resituées dans un panorama d'ensemble des questions soulevées par la transformation de la protection des cultures, explicitant ainsi pour les différents intervenants la cohérence entre les travaux appelés par le Programme et les besoins du plan.

Tous les Etats de l'U.E. sont amenés à faire évoluer leurs pratiques phytosanitaires pour les mettre en conformité avec la Directive 2009/128/EC. Même s'ils déclinent cette Directive au travers de Plans d'Action Nationaux assez différents, tenant compte des particularités de leur agriculture et d'approches historiquement diverses, ils sont confrontés à des besoins de connaissances et d'outils qui se recoupent largement. Comme le montre l'expérience du Réseau européen ENDURE³, sur de nombreux aspects liés à la mise en œuvre de la Protection intégrée, il y a une vraie valeur ajoutée à mutualiser les efforts de recherche, non seulement pour en partager le coût, mais aussi pour confronter des expériences différentes, tirer parti d'une grande diversité de situations pédoclimatiques ou suivre l'évolution des bioagresseurs à une échelle transnationale. L'ERA-Net C-IPM⁴, coordonné par la France depuis 2014, vise à mettre en synergie les initiatives de recherche mises en place dans les Etats-membres autour de la gestion intégrée de la santé des plantes. Le programme scientifique préparé pour Écophyto a contribué des priorités du Scientific Research Agenda européen élaboré dans le cadre de cet ERA-Net et nourrit les sujets des appels d'offres transnationaux qu'il émet.

PANORAMA DES QUESTIONS POSEES PAR LA TRANSFORMATION DE LA PROTECTION DES CULTURES ET POSITIONNEMENT DES PRIORITES DE RECHERCHE.

Pour esquisser ce panorama, nous adopterons successivement trois points de vue :

- A. Quels changements le contexte réglementaire et sociétal impose-t-il par rapport au modèle de phytoprotection qui privilégiait la lutte chimique ? (*Quels impératifs de changement ?*),
- B. Par quels cheminements les acteurs peuvent-ils mettre en œuvre ces changements et comment rendre cette transition praticable ? (*Comment opérer la transition ?*),
- C. A quels nouveaux modèles de protection cette transformation peut-elle conduire et sont-ils soutenables ? (*Avec quelles perspectives ?*).

A. QUELS IMPÉRATIFS DE CHANGEMENT ?

Les politiques publiques et mesures réglementaires adoptées aux niveaux tant national, avec le plan Ecophyto, qu'europpéen, en particulier avec la Directive cadre 2009/128/EC, affichent clairement l'objectif de réduire la dépendance de l'agriculture à l'égard de l'utilisation des pesticides en encourageant le recours à des moyens non chimiques alternatifs aux pesticides et l'application des principes de la protection intégrée des cultures. Une analyse de ces principes (listés dans l'Annexe III de la Directive) fournit une base de réflexion utile sur les moyens d'atteindre cet objectif⁵. Parmi ces principes figure la nécessité de raisonner les interventions, qu'elles soient chimiques ou non, en se fondant sur une surveillance des bioagresseurs permettant d'évaluer au plus près les risques qu'ils

³ European Network for the Durable Exploitation of Crop Protection Strategies - <http://www.endure-network.eu/>

⁴ Coordinated Integrated Pest Management in Europe - <http://c-ipm.org/>

⁵ Barzman MS *et al.*, 2015. Eight principles of integrated pest management. Agron. Sustain. Dev. DOI 10.1007/s13593-015-0327-9

font courir à la culture. Enfin, dès lors que la protection intégrée n'exclut pas l'utilisation de produits phytopharmaceutiques, et même s'ils sont utilisés en dernier recours, il faut limiter les risques et les effets sur la santé humaine et l'environnement liés à leur emploi.

1. Réduire la dépendance des systèmes agricoles à l'utilisation de la lutte chimique

Aujourd'hui, lorsque des agriculteurs sont privés de solution chimique par l'apparition de résistances ou le retrait de certains pesticides, ils se retrouvent fréquemment en situation d'impasse technique. C'est l'illustration que, malgré des décennies d'utilisation intensive, la lutte chimique n'est pas devenue moins nécessaire, mais qu'il est au contraire plus difficile de s'en passer. L'objectif de réduire la dépendance de l'agriculture à l'égard des pesticides consiste à renverser cet engrenage, c'est-à-dire non 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. Quatre mécanismes au moins ont concouru à cette dépendance qui se traduisent par (1) l'offre insuffisante de méthodes alternatives, (2) la vulnérabilité des systèmes de culture, (3) une gestion des bioagresseurs trop ciblée sur des interventions ponctuelles et locales et (4) l'érosion des processus de régulation naturelle.

1.1 - La focalisation de l'innovation phytosanitaire pendant près de 40 ans sur la découverte de nouveaux pesticides, accompagnée d'une marginalisation des méthodes non chimiques, a limité l'offre en **méthodes de lutte alternatives** performantes qui reste actuellement insuffisante par rapport aux usages à couvrir. Réduire cette dépendance ne signifie pas de revenir aux méthodes pratiquées avant la mécanisation de l'agriculture, mais 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. (**Chap. III**⁶). 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.

Le concept de méthode alternative reste souvent associé à l'idée de substitution d'un outil non chimique à un pesticide. Or peu d'alternatives sont utilisables, ou pleinement efficaces, dans une logique de simple substitution : comme l'ont montré les travaux sur la protection intégrée, c'est la combinaison de méthodes de lutte différentes (y compris prophylactiques) qui offre les meilleures chances de succès grâce à des effets synergiques. Pour favoriser l'adoption des méthodes non chimiques, la recherche et l'expérimentation doivent s'intéresser davantage 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 (cf. Chap. II).

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 génotypes pour éviter leur contournement. On peut introduire aussi dans les nouvelles variétés d'autres traits qui contribuent à limiter les bioagresseurs : développement, 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 autres éléments : (1) les technologies permettant d'assurer la qualité, en particulier sanitaire, des semences et des plants ; (2)

⁶ Chapitre III - Diversification des méthodes de lutte et limitation des intrants phytosanitaires

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 systèmes⁷ (**Chap. III.1**⁸).

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. 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 identifiées⁹ : (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 l'adoption du biocontrôle par les agriculteurs et proposer des outils pour y remédier (**Chap. III.2**¹⁰).

1.2 - Au cours des décennies passées, **les systèmes de culture** ont évolué et les systèmes de production eux-mêmes se sont transformés. Ces modifications (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 dépendance il faut continuer à faire évoluer les systèmes en y introduisant maintenant comme un objectif majeur d'améliorer leur résilience, c'est-à-dire de les rendre à la fois moins favorables au développement des bioagresseurs et moins vulnérables à leurs effets.

Le constat du lien entre système de culture et prévalence des bioagresseurs est à l'origine du concept de protection intégrée. La valeur opérationnelle de ce levier pour réduire le recours à la lutte directe, notamment 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 Écophyto de réduire fortement l'utilisation de pesticides sur l'ensemble de la ferme France nécessite de reconcevoir les systèmes de culture dominants pour une résilience accrue.

La recherche sur la protection intégrée en appui au plan (**Chap. II**¹¹) ne se limite donc pas à combiner des méthodes de lutte. Elle doit s'intéresser aux propriétés du système 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 bas niveau. 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.

⁷ Priorités affichées dans l'APR CASDAR Semences et innovation variétale

⁸ Chapitre III.1 - Matériel génétique cultivé, semences et plants

⁹ Priorités affichées dans l'APR PSPE 2014 : Contribuer à l'essor du biocontrôle

¹⁰ Chapitre III.2 - Biocontrôle

¹¹ Chapitre II - Conception et mise au point de solutions intégrées de protection des cultures

1.3 – La priorité donnée au raisonnement des traitements chimiques a incité à restreindre la gestion des bioagresseurs à un cadre d'interventions tactiques, ponctuelles et locales. La protection intégrée appelle 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 est un champ de recherche qui mérite d'être fortement développé. En effet ces caractéristiques ont une influence présumée importante, mais dont la connaissance reste lacunaire et imprécise, sur la propagation et le développement des populations de bioagresseurs. De ce fait, les possibilités d'action que recèlent l'aménagement de l'espace et du paysage, ainsi que l'agencement spatial des systèmes de culture, restent largement sous-exploitées. La question primordiale est de savoir à quels niveaux d'organisation spatiale et paysagère doit se situer une gestion phytosanitaire efficace. Pour y répondre, il est nécessaire de prendre en compte les aires et distances caractéristiques vis-à-vis de l'extension et de la dispersion des populations de bioagresseurs. Selon les cas, ces dimensions sont d'ordre de grandeur très différents, impliquant des mesures de nature différente, et des périmètres de gestion eux aussi très différents.

1.4 – 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 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 (**Chap. II**).

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 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'investissement scientifique 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 (**Chap. II**). À cet égard, les deux réseaux DEPHY (Fermes et Expé) mis en place par le plan constituent une ressource particulièrement pertinente¹².

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

¹² Priorités affichées pour partie dans l'APR PSPE 2012 : Pour et Sur trois dispositifs du Plan

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.

La Directive 2009/128/EC prévoit que 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 recherche¹³ (**Chap. I**¹⁴). La priorité donnée à l'observation pose les questions (1) de l'optimisation de l'échantillonnage au niveau régional, (2) de la traduction des observations en une analyse de risque, publiée dans un BSV, et de l'intégration d'outils complémentaires tels que des modèles épidémiologiques, (3) de la façon d'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 avec le développement d'outils moléculaires nouveaux permettant détection et identification précoces des bioagresseurs *in situ*.

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 (**Chap. I**).

3 - Réduire les risques et effets liés à l'utilisation des pesticides

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 en particulier 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.

¹³ Priorités affichées pour partie dans l'APR PSPE 2012 : Pour et Sur trois dispositifs du Plan

¹⁴ Chapitre I - La surveillance biologique du territoire : de l'observation à la décision

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'utilisation des indicateurs : choix pertinent selon les objectifs visés et les échelles spatio-temporelles concernées, validation, intégration des réponses et interprétation des résultats. On a également besoin de projets contribuant à élucider les *liens de causalité (souvent complexes) entre pratiques et impacts* pour fournir en retour des indications sur les modifications souhaitables de ces pratiques¹⁵ (**Chap. VII**¹⁶).

Les impacts des pesticides sur la *santé humaine* représentent une préoccupation majeure de la société¹⁷. 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 exploitations et riverains) et ses conséquences sur leur santé restent insuffisamment étudiées et relèvent des priorités du plan Écophyto. Ceci suppose d'exploiter les systèmes de surveillance épidémiologique, de développer des approches épidémiologiques et toxicologiques pour estimer les risques de santé et de produire 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. Dans les travaux visant à réduire les expositions, par exemple dans l'amélioration des équipements de pulvérisation, il faut veiller à ce que les enjeux sanitaires et environnementaux soient envisagés conjointement (**Chap. VIII**¹⁸).

Les travaux qui ont été 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 MEDDE¹⁹, fournissent une base de connaissances pour *optimiser les modalités d'application des pesticides vis-à-vis de l'environnement*. Dans le plan Écophyto, la mise en œuvre concrète de telles mesures donne d'ailleurs lieu à des actions de contrôle et de formation (incluse dans le dispositif Certiphyto). Cependant, différents domaines liés aux agroéquipements pour l'agriculture de précision connaissent aujourd'hui des progrès rapides : capteurs pour la détection des bioagresseurs, outils de géolocalisation et de guidage, TIC permettant d'acquérir, traiter et exploiter des bases de données massives, perfectionnement de la précision des matériels de pulvérisation grâce notamment au couplage à l'informatique embarquée. Un progrès considérable d'économie de pesticides et de réduction des contaminations est encore à attendre de recherches combinant l'ensemble de ces perfectionnements à l'élaboration d'un raisonnement agronomique affiné et adapté à ces nouvelles possibilités d'intervention (**Chap. III.3**²⁰). 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).

Enfin, ces travaux restent à compléter en expérimentant des modalités d'action plus collectives se situant à des niveaux d'organisation spatiale et socio-économique qui, tout en étant supérieurs à ceux de la parcelle et de l'exploitation, peuvent être très variés.

¹⁵ Priorités affichées pour partie dans l'APR PSPE 2012 : Pour et Sur trois dispositifs du Plan

¹⁶ Chapitre VII - Des usages aux impacts : les indicateurs

¹⁷ Expertise collective INSERM 2013

¹⁸ Chapitre VIII - Exposition aux pesticides agricoles et effets sur la santé humaine

¹⁹ Charbonnier E. *et al.*, 2015. Pesticides : des impacts aux changements de pratiques. Ed. Quae, 400pp.

²⁰ Chapitre III.3 - Développement et combinaison d'outils dans le cadre de l'agriculture de précision

B. COMMENT OPÉRER LA TRANSITION ?

La mise en œuvre effective des changements que nous venons d'examiner est entre les mains d'acteurs multiples, en premier lieu de ceux à qui appartient la décision d'utiliser des pesticides : les agriculteurs, décisionnaires dans leurs exploitations agricoles, et, pour les zones non agricoles (ZNA²¹), les gestionnaires des collectivités, des infrastructures de transport... et aussi les jardiniers amateurs. Mieux comprendre les déterminants des comportements et des décisions 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, en particulier les grands dispositifs qui lui sont associés (Réseau DEPHY, RES, Certiphyto) et qui tous visent à mobiliser les acteurs autour de la transformation de la protection des plantes, ne doivent pas être vues seulement sous leur angle technique. Ils constituent des terrains d'observation exceptionnels pour les sociologues et les économistes. L'analyse de ces situations devrait aider à mettre en évidence les ressorts des dynamiques, positives ou négatives, afin d'éclairer l'action publique dans l'accompagnement des acteurs.

La diversité de comportement des agriculteurs vis-à-vis de l'utilisation des pesticides et des changements de 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 dans l'évolution des pratiques. 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 (Chap. V²²).

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. 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 (Chap. V).

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) ; ce qui 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 diversification²³.

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

²¹ Les ZNA sont désormais nommées JEVI (jardins, espaces végétalisés et infrastructures)

²² Chapitre V - Les dimensions socio-économiques des transitions vers une protection économe en pesticides : changements des pratiques, conseil, formation, co-innovation, gouvernance et coordination des acteurs

²³ Meynard JM *et al.*, 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.

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. **(Chap. V).**

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 **(Chap VI²⁴)**. Par exemple, la mise en œuvre de "*certificats d'économie* de produits *phytosanitaires*" (CEPP)²⁵, qui identifie le rôle des distributeurs dans le processus décisionnel des exploitants agricoles, soulève des questions scientifiques et techniques qui relèvent de ce programme. Or ces politiques incitatives s'inscrivent dans un contexte où nombre d'*autres politiques* affectent les décisions des agriculteurs, prioritairement parfois, de manière cohérente ou contradictoire ; il en est de même des marchés. 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 central. Ceci invite entre autres à faire un bilan des dispositifs existants (les MAET) et à réfléchir à des contrats agro-environnementaux innovants permettant d'aller plus loin dans l'incitation à la modification des pratiques. Celle-ci suppose aussi une évolution dans la nature du *conseil* (moins tactique et plus stratégique) dont peuvent bénéficier les agriculteurs et, par voie de conséquence, une évolution dans le métier de conseiller. Comment les politiques publiques peuvent-elles favoriser cette évolution, en tenant compte de la diversité des organismes investis dans cette activité ? *L'accompagnement des agriculteurs* dans la transition doit aussi être étudié sous l'angle des dispositifs à mettre en œuvre pour les aider à franchir la prise de risques que représente pour eux l'adoption de méthodes alternatives. L'intérêt et les moyens de donner à ces mesures une dimension collective méritent d'être examinés.

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 développer des approches facilitant l'évaluation de l'action publique. De même conviendrait-il de développer une méthodologie permettant l'expérimentation de dispositifs de politiques publiques en situation réelle.

C. AVEC QUELLES PERSPECTIVES ?

Alors que l'attention est accaparée par la nature des changements à opérer et des innovations requises d'une part, par les moyens pour mobiliser les acteurs et réussir la transition d'autre part, la question de savoir si les solutions élaborées aujourd'hui seront soutenables à terme reste relativement négligée.

Le GER a été sollicité sur un aspect particulier, mais important, de cette question : **la durabilité des stratégies de protection au regard de l'évolution des bioagresseurs (Chap IV²⁶)**. L'expérience de la difficile gestion de la résistance aux pesticides et du contournement des résistances variétales

²⁴ Chapitre VI - Les dispositifs incitatifs de politique publique et leur mobilisation pour inciter les agriculteurs à réduire leur utilisation de pesticides

²⁵ Permises par la *loi d'avenir* du 13 octobre 2014

²⁶ Chapitre IV - Durabilité de l'efficacité des méthodes de lutte et robustesse des systèmes de culture vis-à-vis de l'évolution des cortèges et populations de bioagresseurs

explique cette préoccupation. L'utilisation des méthodes de lutte fait évoluer les populations de bioagresseurs, mais cette évolution peut être limitée par des modes de gestion appropriés. Ces sujets, bien que déjà étudiés, 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 bioagresseurs auxquels l'agriculture doit faire face. Des systèmes de protection intégrée bien rodés ont souvent été compromis par l'arrivée d'un nouveau bioagresseur, du fait de l'utilisation de pesticides pour son éradication ou son confinement et de l'absence de moyens de lutte alternatifs préexistants. Le rythme accru des invasions par des espèces nouvelles (ou des génotypes nouveaux d'espèces préexistantes) constaté ces dernières années donne une acuité particulière à cette question. Il paraît nécessaire 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 (**Chap IV**). La recherche sur les systèmes de culture robustes devrait en particulier intégrer ces risques potentiels, ainsi que l'accroissement probable des aléas climatiques²⁷.

Cette démarche d'anticipation mériterait d'être abordée à l'avenir de façon plus générale dans le programme. En effet, ni le cadre réglementaire, ni la façon dont s'organisent les acteurs pour le mettre en application ne définissent de façon univoque un modèle alternatif de protection des cultures. Une étude prospective réalisée par le réseau européen ENDURE²⁸ montre au contraire que des modèles multiples peuvent se concevoir et, éventuellement, coexister ; ce qui est illustré par des scénarios contrastés dans lesquels la priorité est mise sur des aspects différents de la protection intégrée : (1) une lutte directe aux risques mieux maîtrisés, (2) une épidémiosurveillance perfectionnée pour circonscrire les interventions, (3) la conception de systèmes résilients minimisant la lutte chimique, (4) l'exploitation des services de l'écosystème pour créer un contexte à faible pression de bioagresseurs. On voit d'ailleurs émerger actuellement, selon les pays, les territoires ou les filières, des ébauches de ces types d'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 plantes²⁹. De façon analogue, le rapport Potier constate 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 Ecophyto³⁰. 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.

²⁷ Lamichhane J. R. et al., 2014. Robust cropping systems to tackle pests under climate change, a review. *Agron. Sustain. Dev.* DOI 10.1007/s13593-014-0275-9

²⁸ Labussière E. *et al.*, 2010. European Crop Protection in 2030, ENDURE Foresight study. Published by INRA

²⁹ Barzman, M. 2012. Foresight prompts researchers in pest management to look beyond research. *The Futures of Agriculture*. Brief No. 05. Rome: Global Forum on Agricultural Research (GFAR).

³⁰ Pesticides et agro-écologie, les champs du possible, 2014. Rapport de M. le député D. Potier au Premier Ministre.

Chapitre I - La surveillance biologique du territoire : de l'observation à la décision

La mise en œuvre des principes de protection intégrée des cultures suppose de déployer des stratégies combinant des techniques de lutte appropriées (génétique, physique, biologique, chimique...) vis-à-vis des risques phytosanitaires, de manière aussi compatible et harmonieuse que possible avec les facteurs naturels de régulation (auxiliaires), dans le respect de l'environnement et de la santé publique. En matière de traitement chimique, cette stratégie implique de cibler le recours aux produits phytosanitaires sur les situations à risque avéré et nécessite de bien connaître les populations de bioagresseurs et leur évolution dynamique. En outre, une caractérisation des agroécosystèmes peut s'avérer nécessaire pour déployer des stratégies intégrées raisonnées à l'échelle du système de culture et du paysage.

Pendant plusieurs décennies, les Avertissements Agricoles® des Services Régionaux de la Protection des Végétaux (SRPV) ont apporté un appui aux agriculteurs sous forme de suivis biologiques, de données épidémiologiques et de messages d'alerte quant à la dynamique de certains ravageurs et maladies, ainsi que de préconisations de pratiques phytosanitaires.



Dans le contexte du plan Écophyto, la mission de service public a été réorientée vers un dispositif qui délivre désormais - *via* le bulletin de santé du végétal (BSV) – une information régionale par filière végétale sur la dynamique des bioagresseurs et une estimation des seuils de nuisibilité incluant l'observation des auxiliaires, sans référence explicite à des préconisations de traitement ou de produits. Ce réseau d'épidémio-surveillance des cultures accompagne le conseiller technique en zone agricole ou non agricole (ZNA³¹) dans ses préconisations, le BSV étant désormais une composante obligatoire dans la certification du conseil et vise à apporter à l'agriculteur ou au gestionnaire d'espaces verts (ZNA³¹) une information lui permettant de raisonner ses propres stratégies de protection des cultures.

S'il est d'ores et déjà opérationnel, le dispositif évolue avec (i) la mise en place d'un système d'information centralisé capitalisant les données des BSV, et (ii) l'extension du réseau, à partir de 2012, à l'observation des effets non intentionnels des pratiques agricoles. Le réseau contribue également à la détection de l'émergence d'organismes nuisibles réglementés et/ou émergents,

³¹ Les ZNA sont désormais nommées JEVI (jardins, espaces végétalisés et infrastructures)

même si ce n'est pas son objectif premier pour la plupart de ces bioagresseurs. Cette démarche s'inscrit dans le cadre plus large de la surveillance biologique du territoire (SBT) qui a pour objet de s'assurer de l'état sanitaire et phytosanitaire des végétaux et de suivre l'apparition éventuelle d'effets non intentionnels des pratiques agricoles sur l'environnement.

La montée en puissance de ce réseau d'épidémio-surveillance soulève plusieurs questions quant à son organisation, son optimisation et sa valorisation effective afin d'éclairer la décision des agriculteurs, et ouvre par ailleurs des perspectives nouvelles d'exploitation pour d'autres objectifs que l'orientation des pratiques phytosanitaires. Suite à l'évaluation réalisée en 2012 à la demande de l'ONEMA et au contrôle de second niveau mis en œuvre régulièrement par les DRAAF-SRAL sous l'égide de la DGAL, des recommandations portant sur son organisation, son pilotage et son périmètre ont été formulées³² (Ce chapitre développe les questions de recherche qui découlent de la mise en place et de l'évolution en cours du réseau d'épidémio-surveillance et identifie celles qui sont considérées prioritaires au regard des enjeux du plan Écophyto et des projets déjà engagés.

1 Optimiser et valoriser le réseau d'épidémio-surveillance

Le réseau d'épidémiosurveillance actuel est caractérisé par une certaine hétérogénéité dans les modalités d'échantillonnage parcellaire régional (localisation des parcelles, nombre et type, conduite) ; des lignes directrices et recommandations méthodologiques sont aussi attendues. La première question qui se pose dans la mise en œuvre de ce réseau d'épidémiosurveillance concerne donc l'échantillonnage parcellaire régional : Comment réalise-t-on l'échantillonnage spatial au sein d'une région administrative ? Les bioagresseurs observés présentent des dynamiques et des variabilités différentes selon les zones pédo-climatiques, les conduites et les milieux de culture : comment optimiser l'échantillonnage ? Comment adapter l'échantillonnage en cours de saison en fonction des données déjà recueillies ou selon les besoins/enjeux spécifiques à une région ? Ces questionnements autour de l'échantillonnage concernent également le réseau de suivi des effets non intentionnels, permettant d'enrichir le vademecum en biogilance actuellement utilisé. De façon générale, l'échantillonnage soulève la question du rapport coûts/bénéfices du réseau d'épidémiosurveillance que le projet VESPA, retenu dans le cadre de l'APR PSPE 1, aborde au travers de la mise au point de méthodes permettant de rechercher le compromis entre la précision d'une série de mesures couvrant plusieurs organismes ravageurs ou pathogènes, et la répartition de l'effort d'échantillonnage dans le temps et l'espace.

Le passage de la description régionale – donnée par le BSV - à la prise de décision par l'agriculteur pose la question de la traduction **d'une appréciation moyenne régionale à une estimation du risque et à la prise de décision à l'échelle locale**. Cette appréciation moyenne est le plus souvent qualitative et toujours issue d'observations ponctuelles descriptives. L'utilisation de modèles spatialisés (épidémiologiques, statistiques, etc.) peut-elle aider à optimiser le nombre de points d'observation représentatifs ? Par ailleurs, quelles covariables biotiques et abiotiques collecter et exploiter afin de redresser ces échantillons, d'extrapoler les résultats à d'autres situations, de prédire le niveau local de risque et d'accompagner ainsi la prise de décision tactique ou stratégique à l'échelle de l'agriculteur ? De façon générale, il y a un fort besoin de développement de méthodes et outils pour

³² Traon D. et *al.* 2012 - Evaluation *in itinere* du volet épidémio-surveillance du plan Ecophyto 2018 <http://www.forumphyto.fr/wp-content/uploads/2012/09/1209RapportAxe5EcophytoONEMA.pdf>

accompagner l'analyse de risque. L'objectif premier n'est pas de mettre au point de nouveaux modèles épidémiologiques (même si les données du réseau peuvent être très utiles pour valider de tels modèles) mais d'exploiter un éventail de méthodes exploitant au mieux les données produites dans l'analyse du risque. Dans ce contexte, le projet SYNOEM, retenu suite à l'APR PSPE 1, aborde, sur la base des modèles existants, la question spécifique de l'intégration de différentes sources d'information (expertise, observations, expérimentations, modélisation) dans le cadre du BSV, problématique qui revêt une importance particulière compte tenu du coût d'acquisition des données. Un élargissement du questionnement à l'analyse du risque et l'exploration d'approches innovantes de modélisation sont à privilégier.

Alors que le réseau d'épidémiosurveillance a été conçu pour apporter une information phytosanitaire locale (à l'échelle d'une petite région agricole ou d'un bassin de production), dans le temps et dans l'espace, il est souhaitable de passer « des instantanés à des tendances ». Il y a lieu de réfléchir à **l'utilisation que l'épidémiologie peut faire des informations et des bases de données** fournies par le dispositif d'épidémio-surveillance et les conséquences sur les modèles épidémiologiques (suivi de l'évolution des pratiques et des épiphyties). Que peut nous apprendre ce dispositif sur l'évolution des pressions biotiques au fil du temps, en fonction du changement climatique et des changements de pratiques liés notamment au plan Écophyto ? Quels effets sur le stock d'inoculum, le potentiel d'infestation parasitaire et d'adventices dans les sols ? Quelles incidences du changement climatique, et notamment d'une variabilité interannuelle accrue, sur la variabilité d'occurrence des épidémies ? Quelles sont les conséquences à moyen terme des changements de pratiques de protection et, notamment, de la réduction de l'usage des produits phytosanitaires sur l'évolution des pressions liées aux bioagresseurs ? Cela passe notamment par une meilleure compréhension de la dynamique de développement des bioagresseurs en fonction de la dynamique d'utilisation des produits phytosanitaires. Il y a là un aspect très important pour anticiper les conséquences de l'application du plan Écophyto. Le projet « Analyse des pressions biotiques » du GIS GC-HPE2E a identifié un certain nombre de valorisations potentielles. Il est essentiel de mettre à disposition des chercheurs les données recueillies par le réseau, mais cette valorisation pour des objectifs ne rentrant pas directement dans le plan Écophyto n'est pas jugée comme étant l'action la plus prioritaire.

Enfin, le **développement en cours d'outils nouveaux** de détection et d'identification des bioagresseurs par des méthodes moléculaires offre des perspectives nouvelles qui peuvent modifier les protocoles et l'organisation des réseaux de collecte. Ces outils ouvrent la voie au diagnostic pré-symptomatique et, potentiellement, à de nouvelles stratégies de lutte. S'ils sont ciblés simultanément sur la caractérisation fine des populations de bioagresseurs et des espèces hôtes, ces outils autorisent une approche innovante de la gestion spatiale des résistances variétales. Néanmoins, ces techniques nouvelles n'ont de sens que si elles sont compatibles avec les contraintes d'un réseau d'épidémiosurveillance, en termes de logistique, de délai de réponse et de coût. Il apparaît nécessaire de développer des prototypes sur quelques cas particuliers afin d'en mesurer à la fois le potentiel et la faisabilité pratique, notamment en termes d'organisation logistique pour le diagnostic en temps réel. Un premier exemple est abordé dans le projet PYROFUS de l'APR PSPE 1 qui développe un prototype d'outil innovant de détection et d'identification fine de la fusariose du blé, en combinant des approches moléculaires et bioinformatiques. D'autres modèles doivent être explorés. Ces nouvelles méthodes offrent de vraies perspectives et sont jugées prioritaires.

En ce qui concerne les bioagresseurs émergents et les résistances, les questions soulevées ci-dessus

restent valides, notamment en ce qui concerne le potentiel des outils moléculaires ou la capacité de modèles prédictifs à identifier les situations où ces bioagresseurs ont le plus de chances d'être repérés (Cf. chapitre IV).

De façon générale, il y a un enjeu fort à ce que les données collectées sur le terrain soient accessibles plus rapidement. Les outils utilisés pour saisir l'information sur le terrain pourraient être directement connectés à un serveur, rendant par l'intermédiaire de la géolocalisation l'information plus accessible. Techniquement, l'installation d'une épidémiosurveillance en « temps réel » ou en « temps légèrement différé » semble possible mais le modèle économique associé doit être étudié. Un outil universel permettant de suivre par culture ou par type de milieu les principales raisons de recours aux produits phytosanitaires (*i.e.*, les bioagresseurs principaux) permettrait d'avoir des données plus complètes lors de l'étude d'un système de culture.

2 De l'évaluation du risque à la prise de décision

La **notion de seuil de nuisibilité**, très présente dans le dispositif actuel, doit être élargie à la question de la mise au point de référentiels pour l'analyse de risque et l'utilisation d'un ensemble complexe d'informations dans la prise de décision (certains animateurs-filières régionaux utilisent déjà des grilles de risques agronomiques, assorties ou non de règles de décision). Il s'agit en premier lieu de pouvoir, à partir des observations effectuées, prédire les dégâts dans chaque situation particulière. A cette fin, il est nécessaire d'identifier les éléments de description de l'environnement, des systèmes de culture et des pratiques qui permettront de resituer les observations du réseau dans leur contexte.

Par ailleurs, la notion de dégâts ne saurait être seule considérée pour raisonner les interventions : l'impact sur le rendement, sur la qualité des produits, voire sur la marge brute doivent être pris en compte. Il s'agit donc de passer d'un seuil de nuisibilité à une notion de seuil d'intervention qui est actuellement hors du champ d'études des BSV. Il est également indispensable, en particulier pour les adventices, d'envisager les effets engendrés à court et long termes. Enfin, les seuils - souvent difficiles à définir et nécessitant une phase de validation - ne sont pas toujours pertinents pour l'utilisateur, ou difficilement appropriables. Leur pertinence dépend fortement du contexte d'utilisation, en particulier des stratégies de protection mises en œuvre à l'échelle du système de culture. Les approches actuelles en matière d'aide à la décision sont hétérogènes, partielles et ne permettent pas d'accompagner de façon robuste la réduction de l'usage des produits phytosanitaires à l'échelle du système de culture.

Aussi convient-il de réfléchir de façon plus générale aux différents « **repères** » utilisables par les agriculteurs dans leur prise de décision. Il faut proposer de nouveaux repères, définir la façon dont ces repères sont constitués ou pourraient l'être, et analyser leurs usages potentiels, tant sous l'angle de la biologie des bioagresseurs que du comportement des acteurs et de leurs relations économiques. Cela conduit donc à découpler la question en deux sujets : (i) De quels repères disposent ou pourraient disposer les acteurs pour décider ? (ii) Quels facteurs influent sur la façon dont ils utilisent ces repères ? Ce thème constitue une priorité dans l'atteinte des objectifs du plan Écophyto.

Concernant la **prise de décision** elle-même, il s'agit enfin d'analyser comment les acteurs raisonnent leurs pratiques ou leurs préconisations phytosanitaires par rapport aux seuils (perception des risques, ergonomie,...) et d'analyser comment les différents repères évoqués précédemment peuvent être mobilisés pour optimiser la prise de décision. Comment l'absence de préconisations

dans les BSV influe-t-elle sur la prise de décision ? Dans quelle mesure la multiplication des informations sur les bioagresseurs et sur les seuils associés modifie-t-elle l'aversion au risque et, par conséquent, les pratiques ? Il ne s'agit pas ici d'analyser seulement le comportement de l'agriculteur ou du gestionnaire d'espaces verts isolé mais aussi celui du professionnel agricole ou non agricole dans le réseau des acteurs impliqués dans le BSV, sans oublier les « structures économiques et de conseil » qui gravitent autour des professionnels du végétal ou l'impact de l'enseignement agricole ou paysager. Ces éléments doivent contribuer à alimenter l'analyse coûts/bénéfices du réseau mentionnée plus haut.

3 Elargissement de la surveillance

3.1 Aux adventices

Dans le cadre actuel de l'épidémiosurveillance, les adventices ne sont pas pleinement considérées (bien que certains messages BSV les concernent et que des foyers de plantes envahissantes d'origine exotique soient signalés). En effet, leur dynamique d'infestation se construit sur plusieurs saisons culturales et la lutte contre les adventices ne peut donc se raisonner de la même façon que celle contre les autres bioagresseurs (maladies, ravageurs) pour lesquels le déclenchement d'épidémie dépend essentiellement de paramètres saisonniers.

Néanmoins, leur gestion est un frein majeur à l'adoption de systèmes de cultures peu dépendants des produits phytosanitaires et leur prise en compte fait partie des recommandations faites à l'issue de l'évaluation du dispositif. Un groupe de travail Écophyto a examiné en quoi l'observation des adventices pourrait contribuer à la réduction de l'usage des produits phytosanitaires et comment ce suivi pourrait se faire. En s'appuyant sur l'expérience du « réseau flore » et le projet ANR Vigiweed³³, il a été conclu que l'épidémio-surveillance des adventices peut permettre, sur le pas de temps court, d'optimiser en saison le choix des interventions de tout ordre ayant un impact sur les adventices et, à ce titre, mérite d'apparaître dans les BSV. Par ailleurs, l'analyse des données sur plusieurs saisons permet de mieux saisir l'évolution de la flore et d'identifier les déterminants de cette évolution, qui pourront alors être pris en compte dans l'élaboration d'outils de pilotage des stratégies de désherbage.

Afin de mettre en place une épidémio-surveillance des adventices compatible avec les enjeux et les contraintes d'Ecophyto, il est proposé de combiner: un **dispositif léger**, réactif et représentatif d'observations des adventices **en cours de saison** qui permettrait d'éclairer les praticiens sur la synchronisation des interventions de désherbage avec l'expression d'un risque malherbologique avec un **dispositif de suivi sur le moyen terme** qui apporterait les éléments nécessaires pour un raisonnement, à l'échelle de la rotation. Par ailleurs, un dispositif spécifique de surveillance de l'émergence ou de l'évolution des résistances des adventices aux produits phytopharmaceutiques est souhaitable. Enfin, un dispositif d'appui pédagogique, permettrait d'apporter des éléments de reconnaissance et de gestion intégrée des adventices en milieux agricoles et en zones non agricoles.

Afin de capitaliser et valoriser les données recueillies, un portail rassemblant les observations de terrain permettrait au praticien de confronter ses propres observations à un référentiel auto-alimenté par les observations des différents acteurs et ainsi mieux cerner ses marges de progrès; cela suppose en particulier de mettre au point des protocoles d'observation adaptés et des outils d'aide à la décision;

³³ Reboud X. et al., 2013 - Que nous disent les réseaux d'observatoires sur les réactions de la flore adventice aux évolutions des pratiques agricoles ? *Innovations Agronomiques* 28, 127-140

3.2 *Aux populations d'auxiliaires*

Le suivi des auxiliaires est indispensable en épidémio-surveillance des cultures, notamment vis-à-vis des ravageurs, en raison de leur rôle potentiel dans l'accompagnement du changement de pratiques. Les données d'observation collectées sur le terrain entrent dans l'analyse des risques phytosanitaires avant publication des bulletins de santé du végétal (BSV).

Il importe que les conseillers techniques, les agriculteurs et les gestionnaires d'espaces verts puissent prendre sur cette base une décision appropriée en réponse aux questions habituellement posées par les professionnels sur les auxiliaires : le risque phytosanitaire est-il élevé ou non sur la culture en présence d'auxiliaires, au regard de leur efficacité potentielle (stades dominants de l'auxiliaire et du ravageur, phénologie de la culture, durée du cycle de développement de l'auxiliaire, conditions climatiques, durée de l'action régulatrice...) ? Est-ce que les auxiliaires présents suffiront à réguler les parasites (lutte biologique par conservation) ? Faut-il effectuer des lâchers d'auxiliaires issus d'élevage en complément (lutte biologique par importation et acclimatation) ou faut-il privilégier un traitement bio-compatible (lien avec la base de données ECOACS) ou une autre intervention ? Pour optimiser les pratiques et aménagements pour favoriser les auxiliaires au niveau de l'exploitation agricole, les agriculteurs ont besoin d'avoir accès à des informations à l'échelle du territoire, ces dernières devant ainsi être directement exploitables à cette fin.

Actuellement, la bibliographie renseigne correctement sur la biologie des auxiliaires, mais l'appréciation de leur efficacité potentielle est souvent empirique ou à « dire d'expert », regroupée par catégories d'espèces (coccinelles, syrphes, chrysopes, hyménoptères parasitoïdes, champignons entomopathogènes,...).

De telles connaissances pourraient apporter aux rédacteurs des BSV un outil d'aide à la décision prévisionnel avec une entrée phytosanitaire basée sur les couples plantes hôtes/parasites et leurs cortèges d'auxiliaires, en donnant la priorité aux plus importants. La mise au point d'un tel OAD sur les auxiliaires nécessite une phase d'expérimentation et de validation, à l'appui de suivis biologiques réalisés sur le terrain.

3.3 *Aux effets non intentionnels (ENI) sur la biodiversité fonctionnelle*

Dans le contexte de la protection des cultures, l'exploitation de la biodiversité fonctionnelle consiste notamment à mettre en œuvre les pratiques nécessaires à l'installation et au maintien de cortèges d'espèces susceptibles de réguler certains bioagresseurs, notamment les ravageurs, ou bien de pollinisateurs. A l'échelle de la parcelle agricole, ces pratiques concernent notamment la mise en place d'aménagements agroécologiques (haies, bandes florales, etc.) et l'installation de zones de régulation écologique. A une échelle spatiale plus étendue, la gestion des éléments du paysage présente aussi un intérêt stratégique. Ces pratiques sont de nature à faciliter la reconception des systèmes des cultures.

Bien que certains de ses constituants soient connus pour leur sensibilité aux pesticides et que des observations de terrain aient montré par exemple que, depuis de nombreuses années, on assiste à une augmentation des pertes et à une baisse de vitalité des colonies d'abeilles et des pollinisateurs sauvages, il y a encore peu de travaux étudiant l'impact des pesticides en grandeur réelle sur la biodiversité fonctionnelle et pas de réseaux de surveillance dédiés.

L'analyse des effets des pratiques phytosanitaires mais aussi celle des pratiques alternatives ou innovantes doit nécessairement prendre en compte l'étude des effets sur la biodiversité

fonctionnelle. Cette question doit être intégrée dans celle plus large de la mise au point de chaînes d'indicateurs reliant les pratiques aux pressions et aux impacts (chapitre VII).

La mise en place en 2012 d'un premier réseau national de suivi des ENI des pratiques agricoles sur des espèces indicatrices de biodiversité sur 500 parcelles a permis d'initier l'analyse de la complémentarité avec le réseau d'épidémiosurveillance et d'étudier les interactions entre les deux types d'organismes sur une échelle spatiale et temporelle étendue. Au-delà de l'évaluation des pratiques, ce type de réseau peut aussi s'avérer utile dans le cadre du suivi de post-homologation des produits phytosanitaires pour lequel des exigences réglementaires existent mais sans que les outils correspondants ne soient clairement définis ou mis en œuvre.

Dans ce cadre, la mise en relation des pratiques agricoles et des ENI revêt une importance particulière et constitue une question prioritaire.

Considérations générales

La manière dont les BSV et les données du réseau sont effectivement utilisés par les agriculteurs reste mal connue. Indépendamment d'un besoin de mieux apprécier la façon dont les acteurs s'approprient ces éléments de prise de décision, il est souhaitable d'insérer pleinement le réseau d'épidémiosurveillance dans des démarches d'accompagnement pédagogique, en particulier au travers du réseau DEPHY.

Cette thématique de l'épidémiosurveillance et le lien avec la protection intégrée des cultures ont été identifiés comme un sujet prioritaire par le groupe de travail européen SCAR IPM³⁴ et sont repris dans l'ERANET C-IPM qui a démarré en janvier 2014 (<http://c-ipm.org/>). Le contexte est donc favorable pour une extension de ce sujet au niveau européen et pour un partage d'expériences.

³⁴ SCAR Collaborative Working Group on Integrated pest management for the reduction of pesticide risks and use (2011-2013)

Chapitre II – Conception et mise au point de solutions intégrées de protection des cultures

L'objectif d'une réduction significative des intrants pesticides à court ou moyen terme oblige à concevoir des alternatives globales à une maîtrise des bioagresseurs essentiellement fondée sur la lutte chimique. Il s'agit de mettre au point des solutions relevant de **la protection intégrée**, c'est-à-dire, selon l'acception la plus complète que l'on puisse donner à cette notion, **combinant des méthodes à effets partiels, articulant choix stratégiques sur le moyen terme et décisions tactiques en cours de culture, prenant en compte simultanément l'ensemble des bioagresseurs auxquels est confronté le système de culture, et se situant aux différentes échelles de temps et d'espace pertinentes pour appréhender et contrôler la dynamique de ces bioagresseurs**. Un tel courant d'innovation ne peut être assuré, ni par la mise en œuvre de principes normatifs trop généraux – allonger les rotations, diversifier les couverts végétaux, constituer des trames vertes, ne pas perturber le sol, etc. –, ni par une démarche attentiste qui se contenterait d'accompagner l'émergence d'innovations chez les agriculteurs, ni même enfin par la multiplication d'innovations sectorielles (méthodes « alternatives ») dont on laisserait les praticiens se saisir sans renseigner les règles gouvernant leur bon assemblage. La notion même de protection intégrée



inclut une double problématique de synergie phytosanitaire et de cohérence technique entre les différents leviers mis en œuvre, et plus globalement entre ces leviers et l'ensemble des autres composantes du système de culture (cf. encadré 1). Dans l'idéal, elle se fonde sur une vision systémique incluant à la fois la biologie et l'épidémiologie des bioagresseurs, leurs interactions avec les autres composantes de l'agro-écosystème, l'effet des facteurs techniques, sans oublier les interactions entre ces éléments techniques eux-mêmes. Cette vision systémique agro-écologique doit permettre de mettre en exergue les régulations biologiques que l'on peut actionner ou favoriser pour contrôler le développement et l'impact des bioagresseurs, et ainsi limiter le recours aux intrants pesticides.

La contribution du système de recherche-développement agronomique à la conception des stratégies de protection intégrée consiste d'une part à élaborer un cadre conceptuel et les méthodes nécessaires, d'autre part à produire les connaissances et références requises pour mettre en œuvre ces concepts et méthodes dans une situation donnée. Il faut pour cela valoriser au maximum le potentiel d'expérimentation et d'observation déjà existant, y compris chez les agriculteurs innovants, en le complétant si nécessaire par une nouvelle génération d'enquêtes et d'expérimentations. Ces stratégies doivent s'inscrire dans une démarche globale d'agriculture multi-performante qui intègre les dimensions agronomiques, socio-économiques et environnementales.

1 Formaliser et illustrer la conception des démarches de protection intégrée

Dans l'idéal, la construction d'une stratégie de protection a pour première étape l'établissement d'un schéma de raisonnement explicite – donc réfutable et améliorable –, représentant la dynamique des bioagresseurs et le fonctionnement de l'agroécosystème. Quel que soit le type de production considéré (à base d'espèces annuelles ou pérennes), ce schéma de raisonnement peut être vu comme la combinaison de deux modèles conceptuels : le premier relatif aux processus écologiques qui sont susceptibles de constituer des cibles d'actions prioritaires (prophylaxie, gestion des habitats, conservation, etc.) ; le second relatif aux décisions et opérations techniques qui permettent de mettre en œuvre ces actions prioritaires, selon une chronologie et une localisation adéquates : choix et distribution spatio-temporelle des couverts végétaux, interventions culturales plus ou moins spécifiques (dont celles relevant des méthodes dites alternatives, notamment de biocontrôle), aménagements à l'intérieur ou à l'extérieur des parcelles cultivées, gestion de l'espace et des paysages à différentes échelles, et enfin recours si nécessaire aux traitements chimiques, ciblés de façon précise et en tenant compte des effets des autres interventions.

Les travaux correspondant à cet axe auront pour but :

- De mettre à l'épreuve et enrichir les principes de construction de stratégies de protection intégrée, fondés sur un schéma global de raisonnement, écologique et agronomique, pour le contrôle du cortège de bioagresseurs considéré. Ils pourront alors s'appuyer soit sur un ou quelques cas d'étude, en privilégiant la formalisation et l'illustration des différents maillons du raisonnement, soit sur une gamme de situations plus étendue, permettant d'étudier à la fois le caractère plus ou moins général de ces principes, et la variabilité de leur mise en œuvre en fonction des contextes pédoclimatiques et agri-environnementaux, des cultures et bioagresseurs concernés, et des échelles spatiales et niveaux d'organisation auxquels s'appliqueront les stratégies à construire. Une attention particulière sera portée à la recherche du degré de finesse optimal (ni trop grossier, ni trop détaillé) dans la description des processus écologiques et techniques pris en compte dans le schéma de raisonnement, de façon à conjuguer efficacité opérationnelle et solidité des fondements scientifiques.
- D'analyser les cadres et conditions dans lesquels se réalisent concrètement la conception et l'évaluation des stratégies de protection intégrée, de façon à proposer un éventail de démarches et outils adaptés à la diversité de ces contextes. Cette diversité concerne non seulement les catégories d'espèces végétales, de milieux et systèmes de production, mais aussi et plus fondamentalement deux autres aspects : d'une part, le degré de spécificité locale et de précision visé pour la stratégie mise au point (depuis la mise au point d'un schéma générique innovant qui s'appliquerait à l'échelle nationale ou macro-régionale pour une catégorie de systèmes de culture, jusqu'à l'élaboration d'une solution précisément adaptée à tel ou tel groupe de parcelles chez un agriculteur donné) ; d'autre part le processus de conception lui-même, se traduisant par divers modes d'implication des experts et des praticiens, et différents types de formalisation des savoirs mobilisés (modélisation, dire d'experts, etc.).

2 Comblar les lacunes des connaissances et références nécessaires à l'établissement des schémas de raisonnement de la protection intégrée

Pour concevoir les stratégies de protection intégrée et développer la modélisation agroécologique en appui à cette conception, il faut disposer de connaissances de base sur : (i) la biologie et l'écologie

des bioagresseurs concernés, et leur nuisibilité ; (ii) les effets et impacts, sur les processus biologiques et écologiques en question, du fonctionnement écophysiologique des peuplements végétaux, des systèmes de culture, de leur organisation spatiale en mosaïques paysagères et des aménagements fonciers ou paysagers. Le recours privilégié à une protection chimique, dès lors que celle-ci s'avère efficace, permet de faire l'impasse sur une part plus ou moins grande des effets que peuvent avoir ces groupes de facteurs sur la dynamique des bioagresseurs et auxiliaires. Inversement, en l'absence ou à un niveau réduit de protection chimique, ces effets prennent plus d'importance et doivent être mieux connus. Or, la plupart des interventions techniques sont des perturbations écologiques complexes, portant simultanément sur un grand nombre de processus physicochimiques, physiologiques et écologiques. La complexité est encore accrue de plusieurs ordres de grandeur si on se situe à l'échelle d'itinéraires techniques, de systèmes de cultures ou de portions d'espace rural combinant de multiples interventions réparties dans le temps et dans l'espace, et si on prend en compte la multiplicité des organismes cibles à considérer, la diversité de leurs dynamiques de population, et la diversité des auxiliaires interagissant avec celles-ci.

Cette situation d'hyper-complexité signifie non pas qu'il est utopique de documenter les impacts écologiques des systèmes de culture et aménagements, mais que leur étude gagnera à être menée selon une démarche à la fois priorisée et hiérarchisée :

- En se focalisant sur les bioagresseurs, auxiliaires et organismes utiles d'intérêt agronomique ou écologique majeur, ou pouvant être considérés comme organismes modèles ;
- En privilégiant, au moins dans un premier temps, des effets et impacts « de premier ordre », capables d'expliquer des changements qualitatifs (par exemple dans la composition des complexes de bioagresseurs), des sens de variation et/ou des ordres de grandeur, plutôt que des variations quantitatives fines ;
- En cherchant à développer des approches transversales, par exemple basées sur des « traits de vie » communs à de nombreux organismes non nécessairement proches du point de vue taxonomique, plutôt que sur des approches mono-spécifiques, sauf si celles-ci correspondent à des bioagresseurs majeurs dont la maîtrise a un caractère structurant vis-à-vis des stratégies à construire ;
- Et par-dessus tout, en veillant à ce que les connaissances et références que l'on acquiert répondent à l'objectif de parcimonie précédemment évoqué, c'est-à-dire correspondent à un niveau de précision à la fois nécessaire et suffisant pour permettre d'établir des liens de cause à effet entre interventions techniques et développement des bioagresseurs ou auxiliaires, et des schémas de raisonnement pertinents.

A titre indicatif et non exclusif d'autres points qui seraient identifiés comme des lacunes importantes³⁵, des investigations approfondies sont souhaitables sur :

- Les régulations biologiques qui interviennent pour limiter à des niveaux plus ou moins élevés le développement et la nuisibilité des populations de bioagresseurs, en prenant en compte différents degrés d'emploi de pesticides et leurs impacts sur les processus régulateurs, qu'ils soient défavorables (par ex. la destruction des auxiliaires) ou au contraire favorables (par ex. en limitant l'émergence de populations virulentes...) ;

³⁵ On ne fait pas mention ici de thèmes sectoriels traités dans le chapitre III qui constituent des enjeux cruciaux pour le développement de la protection intégrée (par exemple certains aspects du biocontrôle, ou les mélanges ou alternances de variétés présentant différents types et degrés de résistance...).

- Les effets écologiques des couverts végétaux et des mélanges d'espèces (enherbement des vignobles ou vergers, cultures intermédiaires, plantes de service, associations de cultures, agroforesterie...) : effet répulsif/attractif, dilution des épidémies, compétition limitant l'entrée d'organismes tiers indésirables, allélopathie, etc. ;
- La prophylaxie à l'échelle des bassins de production : tri et contrôle « à la source » de la qualité des semences, contrôle *a posteriori* de l'inoculum *via* un confinement contrôlé, recours à des auxiliaires prédateurs ou antagonistes introduits ou favorisés, élimination des organes contaminés, nettoyage des équipements, et plus généralement réalisation de conditions défavorables à la survie du bioagresseur ;
- La qualification et la gestion d'infrastructures écologiques favorisant la biodiversité fonctionnelle (haies, bosquets, arbres isolés ou non, motifs paysagers ou intra-parcellaires, zones humides, jachères fleuries...), prenant en compte les régulations naturelles engendrées ou l'instauration de conditions défavorables au déclenchement et à l'extension des épidémies ;
- L'effet des systèmes de culture, de la gestion des bordures de champ et plus globalement des aménagements et de la gestion de l'espace et du paysage sur les communautés d'adventices et leurs incidences agronomiques et environnementales ;
- Et plus globalement les traits et caractéristiques biologiques et écologiques des bioagresseurs et auxiliaires dont la méconnaissance constitue un verrou vis-à-vis de l'élaboration de stratégies de protection intégrée, et dont *a contrario* la connaissance ouvrirait la voie à des démarches de prophylaxie ou de lutte biologique inédites.

3 Développer une modélisation agroécologique adaptée à la conception de stratégies de protection intégrée

Parmi les différentes méthodes et outils utiles en appui à la conception de stratégies de protection intégrée, la modélisation agroécologique occupe une place privilégiée, car elle rend incontournable la formalisation des mécanismes biologiques ou écologiques ciblés, et cherche à rendre compte de la multiplicité et du caractère interactif des facteurs et processus à manipuler. Dès lors qu'elle a acquis un certain niveau de validation – qui peut être variable selon l'utilisation envisagée – la modélisation ouvre la voie (i) à l'analyse, au moins qualitative, du rôle de différents facteurs et leviers et de leurs interactions ; (ii) à l'exploration de différents scénarios ; (iii) à une interprétation plus approfondie d'expérimentations existantes, notamment les expérimentations-systèmes, débouchant sur une capacité accrue à transposer leurs conclusions ; et (iv) à l'expérimentation virtuelle, soit dans une perspective plutôt exploratoire et cognitive pour évaluer les impacts phytosanitaires des différents modes de fonctionnement et d'évolution des agroécosystèmes, soit dans une perspective plutôt opérationnelle pour tester l'efficacité de différentes combinaisons de leviers techniques dans une situation donnée.

Par rapport à l'essentiel des modèles épidémiologiques actuellement disponibles, la modélisation agroécologique pertinente vis-à-vis de l'appui à la conception et à l'évaluation de stratégies de protection intégrée doit présenter trois caractéristiques spécifiques, à ce jour rarement réunies :

- La prise en compte non pas d'un seul bioagresseur mais du complexe d'organismes – bioagresseurs, auxiliaires, et le cas échéant organismes non-cibles d'intérêt –, qui intervient dans le fonctionnement de l'agroécosystème considéré, et/ou subit les impacts de ce fonctionnement ;

- La capacité à rendre compte de l'effet des interventions culturelles, systèmes de culture, aménagements et modalités de gestion de l'espace, et de leur combinaison, sur les dynamiques d'évolution, à plus ou moins long terme, des populations considérées ;
- La caractérisation des interactions plante-bioagresseur à l'échelle globale du peuplement, et en termes non seulement de nuisibilité (documentation de la chaîne dégâts-dommages-perdes), mais aussi d'influence en retour de la croissance et du développement du peuplement sur la dynamique des bioagresseurs et l'expression ou non de dégâts. Ce point est particulièrement important dans les cas où l'état du couvert et son évolution sont des facteurs clé de sensibilité aux bioagresseurs, mais aussi d'action sur leur développement³⁶.

Selon l'état de l'art dans le domaine concerné, les travaux à mener peuvent se situer à différents niveaux de développement, depuis l'élaboration de modèles conceptuels, jusqu'à la mise au point d'applications diverses pour valoriser des modèles préexistants (tels que le modèle Florsys d'évolution des flores adventices). Dans des situations intermédiaires, les travaux pourraient consister (i) à élaborer les canevas qui puissent guider la conception des modèles, (ii) à renseigner les moyens d'acquisition des données servant à les paramétrer ainsi que les modes de validation appropriés, et (iii) à produire sur une ou plusieurs études de cas, un ou des pilote(s) à valeur démonstrative, du point de vue de leur application à la protection intégrée. Des modèles assez frustes, pouvant, selon les cas, aider à identifier les alternatives tactiques ou stratégiques, à préciser les risques encourus dans telle ou telle situation, et/ou à trier les principaux facteurs de variations de ces risques, constituent autant d'apports sans doute incomplets dans la démarche, mais cependant très utiles pour amorcer des « boucles de progrès » en protection intégrée.

Dans cette perspective, une application particulièrement intéressante de la modélisation agroécologique réside dans la prévision des impacts phytosanitaires à moyen-long terme de facteurs ou événements écologiques non observés à ce jour, mais que la mise en œuvre prolongée de solutions intégrées peut, selon les cas, favoriser ou défavoriser (par exemple l'arrivée de nouveaux ravageurs, ou de nouveaux variants disposant de moyens d'évitement). Même si la prévision reste qualitative, les modèles utilisables à cette fin peuvent utilement concourir à détecter d'éventuels risques de dérive des conditions de contrôle, *via* des effets cumulatifs sur plusieurs saisons, et/ou suite à l'évolution des bioagresseurs et plantes cultivées.³⁷

4 Mieux valoriser les situations expérimentales existantes et développer une nouvelle génération d'expérimentations, enquêtes et observatoires sur la protection intégrée

Dans une perspective de protection intégrée, on doit en premier lieu tirer le meilleur parti possible des expérimentations à visée phytosanitaire affichée, mettant en comparaison des systèmes de culture ou aménagements, et menées par les différents organismes de R & D agronomiques, publics ou privés. À cette fin, la première des conditions est sans doute de les mutualiser et d'établir entre elles le maximum de connexions, tant au niveau du recueil et de la gestion des données, que pour l'interprétation des résultats. Mais il faut aussi s'intéresser à toutes les expérimentations dont les finalités portent sur d'autres enjeux (par exemple la structure du sol, ou les économies d'énergie, ou la maîtrise de la pollution nitrique...), et dont les traitements sont susceptibles d'avoir une incidence

³⁶ Pour certains secteurs de production comme la viticulture (voire l'arboriculture fruitière), la conduite du peuplement (taille, effeuillage, éclaircissage, etc.) devient ainsi la principale clé d'accès à la protection intégrée, *via* le contrôle du microclimat notamment.

³⁷ Cette question relève également du chapitre IV consacré à la durabilité des méthodes alternatives.

phytosanitaire significative (par exemple les expérimentations pluriannuelles sur la simplification du travail du sol, ou sur les cultures intermédiaires). Il peut enfin s'avérer indispensable de mettre en place des expérimentations inédites, dans la mesure où la protection intégrée peut parfois reposer soit sur des démarches nouvelles (par ex. recours à un agent de lutte biologique non répertorié, ou combinaison inédite d'interventions techniques), soit sur la transposition d'une technique déjà existante à un contexte où elle n'a pas encore été mise en œuvre, et où on ignore encore son impact phytosanitaire.

Compte tenu de la multiplicité et de la complexité des processus sous-jacents, le thème de la protection intégrée se prête mal à l'expérimentation factorielle classique du fait de l'explosion combinatoire du nombre des variantes à tester. Pour contourner cette difficulté, les démarches d'expérimentation-système actuellement en vogue s'attachent à sélectionner et étudier un petit nombre de « systèmes-candidats », mais faute d'explicitation suffisante des hypothèses biologiques, écologiques et agronomiques aboutissant à cette sélection, leurs résultats restent souvent difficiles à généraliser et transposer, voire tout simplement à interpréter. Il faut donc adjoindre à l'expérimentation d'autres types d'approches, qui vont la compléter ou, par effet de synergie, en démultiplier la portée. Ainsi on peut envisager le recours complémentaire (i) à la modélisation, mais la disponibilité des modèles appropriés et des équipes à même de les développer est alors limitante ; (ii) à des réseaux d'enquêtes permettant d'accroître le nombre des situations observées ; et (iii) à l'amélioration des protocoles d'observation, en vue de mieux interpréter les résultats obtenus, de mieux tester les hypothèses sous-jacentes, et donc de conforter la capacité de généralisation des conclusions.

A côté de ces approches où l'expérimentation reste la pierre angulaire, une analyse des systèmes innovants conçus et pratiqués par les agriculteurs eux-mêmes recèle de grandes potentialités. Des systèmes atypiques créés à l'initiative d'agriculteurs, avec forte réduction ou suppression du recours aux pesticides, sont d'un intérêt tout particulier, car susceptibles de révéler certains processus de régulation peu connus, voire non observables en régime de protection chimique prédominante. En contrepartie, l'étude d'une gamme importante de situations agricoles peut accroître certains types de difficultés, qui tiennent d'une part à l'insuffisance de caractérisation phytosanitaire des situations en question, d'autre part à l'hétérogénéité des modes d'obtention et formats de données recueillies, ce qui justifie un effort particulier consacré à l'élaboration de bases de données rendant exploitables ces ensembles de données vastes mais parfois hétéroclites.

Dans une perspective de meilleure valorisation, mais aussi d'extension du potentiel de situations expérimentales (*sensu lato*) intéressant la protection intégrée, le GER encourage des travaux visant à :

- Améliorer les dispositifs d'enquête et d'expérimentation préexistants (notamment les réseaux FERME et EXPE du dispositif DEPHY) sur l'impact phytosanitaire des systèmes de culture, aménagements et modes de gestion de l'espace : perfectionnement des dispositifs et protocoles correspondants, constitution de bases de données communes à différents ensembles de situations, etc. ;
- Engager, si nécessaire à l'extérieur des réseaux FERME du dispositif DEPHY, un travail de prospection sur les systèmes performants utilisant peu de phytosanitaires, et d'analyse des processus agroécologiques à l'œuvre dans ce cadre ;
- Mettre en œuvre la synergie entre modélisation, enquête et expérimentation pour mieux généraliser les résultats obtenus ;

- Développer des dispositifs, protocoles d'observation et bases de données réellement adaptés à la prise en compte des cortèges de bioagresseurs, et ne se restreignant pas aux bioagresseurs ciblés de façon prioritaire par les variantes culturales testées ;
- Concevoir des dispositifs inédits, notamment appropriés à l'étude des effets de différentes structures et modalités d'aménagement ou de gestion de l'espace et du paysage, s'inspirant par exemple du concept de zone-atelier ;
- Réaliser des méta-analyses.

5 Appréhender les implications et impacts de la protection intégrée au niveau de l'exploitation agricole

Dès lors qu'elle est fortement liée au choix des systèmes de culture, la protection intégrée a nécessairement des impacts et implications plus ou moins marqués sur le choix et la répartition des productions végétales, l'organisation du travail, la prise de décision, les équipements et autres caractéristiques relevant de la structure et du fonctionnement globaux de l'exploitation, qui doivent être analysés³⁸. En effet, certains de ces impacts et implications peuvent constituer des obstacles à l'adoption de stratégies de protection intégrée, qu'il est éventuellement possible de lever par des innovations adéquates ou par des dispositifs d'aide ou accompagnement appropriés.

Ce dernier aspect mérite en soi une approche spécifique, car le type d'aide à la décision pour la protection intégrée est *a priori* très différent, dans son contenu comme dans sa forme, de celui permettant de mettre en œuvre une protection chimique systématique. Les analyses à mener doivent porter d'un côté sur la relation de conseil elle-même et son articulation avec les processus de gestion de l'information et de décision de l'agriculteur, de l'autre sur les compétences, les métiers et l'organisation du conseil.

Comme on l'a mentionné précédemment, les situations où est réellement mise en œuvre une protection intégrée, conçue, revendiquée et pratiquée en tant que telle, sont encore rares, et conceptualisées de façon souvent incomplète. Cependant, la démarche séquentielle qui consisterait à attendre la conclusion d'un premier cycle de travaux à dominante agroécologique (§ 1 à 4 ci-dessus) pour étudier ces aspects, semble à proscrire car certains obstacles ou conditions de succès pour le développement de la protection intégrée ne seraient alors révélés et analysés que trop tardivement. Il paraît donc souhaitable que des approches soient menées dès à présent, y compris sur des échantillons de cas à faible représentativité, de façon à au moins élaborer sans tarder les problématiques et cadres d'analyse nécessaires, parfois en réponse aux sollicitations des agriculteurs eux-mêmes sur le bien-fondé de telle ou telle solution qu'ils pratiquent empiriquement. Là encore, le réseau Ferme - DEPHY peut en première approche constituer un banc d'essai intéressant. Compte tenu de l'antériorité de certains pays européens en matière de protection intégrée, l'étude comparative d'exploitations ou groupes d'exploitations dans des pays étrangers est aussi susceptible d'apporter des informations précieuses.

³⁸ Les questions de recherche correspondantes sont énoncées de façon plus précise dans les chapitres V et VI.

Encadré 1 : Protection Intégrée et systèmes de culture

La notion de protection intégrée est étroitement liée avec celle de système de culture, entendue au sens le plus général du terme³⁹ et s'appliquant aussi bien aux cultures pérennes qu'aux cultures annuelles, dans la mesure où le choix des espèces cultivées, de leur association dans l'espace et/ou de leur succession dans le temps, ainsi que beaucoup d'interventions techniques, peuvent constituer autant de leviers pour contrôler le développement des bioagresseurs. Réciproquement, la mise en œuvre d'une protection intégrée va en principe fortement influencer la conception des systèmes de culture, car elle joue sur la hiérarchie des contraintes et facteurs pris en compte, et donc sur l'ordre dans lequel ils interviennent : dans le cas de la protection intégrée, où l'utilisation des pesticides est considérée en dernier recours, certaines règles relatives à la prévention des bioagresseurs deviennent prioritaires, et structurantes. Au contraire, la protection chimique systématique permet de situer la plupart des actions phytosanitaires comme des variantes d'ordre ultime dans l'élaboration du système de culture, si la panoplie de produits disponibles est suffisante pour s'adapter à toute la gamme des bioagresseurs rencontrés.

L'exception qui confirme cette règle correspond aux délais de retour entre certaines cultures, considérés comme intangibles précisément parce qu'aucune autre solution chimique (ou physique) ne permet de contrôler le ou les bioagresseurs (en général telluriques) : même en régime axé sur la protection chimique, ces délais de retour sont des règles quasi-initiales de construction des successions et assolements.

Pour autant, il n'y a pas coïncidence entre ces deux notions : dans certains cas, la stratégie de protection intégrée se traduira assez directement par le choix de systèmes de culture fortement différenciés, dans d'autres cas, ce sera plutôt au niveau de la gestion de l'espace et du territoire qu'elle s'exprimera ; enfin dans certains cas la protection intégrée repose sur certaines interventions décisives qui ne différencient les systèmes de culture que de façon subsidiaire.

Ainsi dans le cas du projet GAMOUR de maîtrise des insectes ravageurs de cultures de cucurbitacées à la Réunion (Diptères de la famille des Tephritidae), la prophylaxie et le ramassage des fruits parasités jouent un rôle essentiel, alors que la succession des cultures (quasi-monoculture) reste inchangée. De même, la conception et la mise au point d'itinéraires techniques s'appliquant à une culture particulière, et non à l'ensemble de la succession où elle s'insère, peut pleinement relever de la notion de protection intégrée, dès lors que la problématique phytosanitaire à traiter est à la fois très spécifique et particulièrement critique (cas du couple pomme de terre/mildiou dans les systèmes de grandes cultures, par exemple).

³⁹ Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par : (i) la nature des cultures et de leur ordre de succession, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues (Sebillotte, 1975, 1990). Pour les cultures pérennes certains éléments majeurs de définition et de différenciation des systèmes de culture portent sur la structure du peuplement (modalités de plantation et de taille, association de diverses strates et espèces végétales, mode d'exploitation pour les prairies), voire sur les modes de conduite, plus que sur la succession des cultures, comme dans les systèmes à base de plantes annuelles, mais la notion reste pertinente.

Encadré 2 : Thèmes majeurs de recherche sur la protection intégrée

1) Conception des stratégies

Identification et représentation des processus écologiques et agronomiques déterminants vis-à-vis de la situation phytosanitaire d'un agroécosystème donné : prise en compte des complexes de bioagresseurs, des systèmes de culture et de leur répartition spatiale, de l'aménagement et de la gestion de l'espace et du paysage. Application à la détermination des principaux leviers à actionner pour la protection intégrée.

Conception de systèmes de culture axés sur la protection intégrée : formalisation des règles de construction. Application à l'établissement de prototypes pour l'expérimentation.

2) Références et référentiels

Connaissance sur la biologie des bioagresseurs et les facteurs de risque : analyse des facteurs et conditions favorables ou défavorables au développement des bioagresseurs permettant la mise en œuvre de la prophylaxie et/ou de la lutte biologique (par introduction ou conservation).

Relations entre cortèges de bioagresseurs et auxiliaires ou organismes d'intérêt, caractéristiques du milieu et du paysage, systèmes de culture : approches fonctionnelles, statistiques, typologiques.

Influence des caractéristiques du paysage, appréhendé à différentes échelles, sur les dynamiques spatio-temporelles de différents types de bioagresseurs et auxiliaires ou organismes d'intérêt : développement d'approches transversales pour faire face à la multiplicité des organismes concernés. Application à la qualification et à la gestion des infrastructures écologiques pour favoriser la biodiversité fonctionnelle.

Influence des espèces végétales sur les dynamiques spatio-temporelles de différents types de bioagresseurs et auxiliaires (idem supra). Application à la qualification et à la gestion des plantes de service à finalité phytosanitaire.

Cas des adventices : établissement de référentiels et bases de données pour documenter (i) les effets du désherbage mécanique, des faux semis, ou des applications localisées d'herbicides (agriculture de précision), en relation avec les modèles disponibles pour représenter l'évolution des flores complexes, (ii) les traits de vie susceptibles de constituer des caractéristiques d'évitement, et par suite de favoriser des dérives de flore préjudiciables à moyen terme.

3) Modélisation agroécologique

Développement et mise à l'épreuve de modèles représentant l'influence des systèmes de culture et des aménagements sur la dynamique des bioagresseurs, auxiliaires et autres organismes d'intérêt.

Illustration des démarches d'utilisation des modèles agroécologiques en appui à la conception ou à l'évaluation des stratégies de protection intégrée : analyse de sensibilité pour hiérarchiser les différents leviers techniques prévus, voire pour en adjoindre de nouveaux sur les points les plus critiques, établissement et analyse de scénarios ; appui à l'expérimentation-système ; expérimentation virtuelle, etc.

4) Expérimentation, enquêtes et réseaux d'observation

Valorisation de situations existantes (notamment dans le cadre des réseaux DEPHY - Ecophyto, Ferme et Expé) : contribution à un ou plusieurs des items précédents (cf. § 1, 2, 3, ci-dessus) à partir des dispositifs d'expérimentation, d'enquête ou d'observation préexistants, et répondant aux conditions suivantes : (i) présenter au moins deux variantes liées aux systèmes de culture et/ou à l'aménagement foncier et paysager, à incidence phytosanitaire présumée ; (ii) faire l'objet d'une caractérisation des situations phytosanitaires, des systèmes de culture et des principales règles de décisions mises en œuvre.

Réalisation de méta-analyses relatives aux incidences phytosanitaires des systèmes de culture.

Conception d'outils de détection permettant la prise en compte d'un cortège global de bioagresseurs.

Conception et mise en place de dispositifs originaux (y compris zones-ateliers ou réseaux de sites), au service des items précédents (cf. § 1, 2, 3 ci-dessus).

5) Mise en œuvre à l'échelle de l'exploitation

Inventaire et analyse des impacts et implications de la protection intégrée au niveau de l'agriculteur et de l'exploitation : inventaire des problématiques et cadres d'analyse, constitution de réseaux appropriés.

Conseil et accompagnement pour la protection intégrée : élaboration et mise à l'épreuve de cadres d'analyses, mise en place de dispositifs d'étude ; étude d'expériences-pilotes.

Chapitre III - Diversification des méthodes de lutte et limitation des intrants phytosanitaires

Réduire le recours aux pesticides implique d'innover en matière d'alternatives et de diversifier les méthodes de lutte. Ces innovations doivent, le plus souvent, être conçues et évaluées dans la perspective d'une utilisation combinée, soit entre elles, soit avec les méthodes de lutte plus conventionnelles (Cf. Chapitre II). De tels niveaux de combinaison ont un impact sur la conception et l'évaluation des innovations, qui doivent désormais intégrer les dimensions temporelles et spatiales des dispositifs permettant de les valider. La recherche doit aussi considérer les verrous à lever pour que les innovations en matière de conception de systèmes, de méthodes de lutte alternatives et d'agriculture de précision puissent rentrer dans la pratique des agriculteurs. Ainsi en est-il de la diversification des cultures comme levier pour améliorer la résilience des systèmes qui crée de nouvelles attentes vis-à-vis de l'innovation variétale ou de la diversification des méthodes de lutte qui implique une adaptation des réglementations relatives aux intrants phytosanitaires.

1 Matériel génétique cultivé, semences et plants



La prise en compte de nouveaux objectifs de sélection et, plus largement, l'adaptation du matériel génétique aux besoins résultant du changement des pratiques et de changements de systèmes de culture ont été déjà largement introduits dans les appels d'offres du CTPS et font l'objet de nombreux projets en cours. Cette dynamique a été renforcée depuis le lancement du plan Écophyto, avec l'arrivée de nouveaux opérateurs de recherche sur ces thématiques. Une démarche de diversification et de gestion des espèces mises en culture, des traits recherchés au sein des espèces, et de modes de déploiement de ces espèces et de ces traits dans la perspective d'un meilleur contrôle des bioagresseurs et des adventices, est engagée, qui interroge l'ensemble du processus d'innovation variétale, de la recherche à l'inscription et au développement des variétés.

1.1 *Intégrer l'utilisation de nouvelles espèces en culture*

Le principe de l'évolution des systèmes de culture s'accompagne de celui de la diversification des espèces intégrées dans ces systèmes, à des fins de développement de nouveaux usages, de gestion optimisée des ressources, et d'un meilleur contrôle des bioagresseurs et adventices. Cependant, si l'intensification, la spécialisation (réduction du nombre d'espèces cultivées), et les rotations courtes se sont bien accompagnées par le passé d'un recours à un usage massif de produits phytosanitaires, il n'est pas certain qu'un retour à une diversité plus large d'espèces cultivées s'accompagne nécessairement d'une réduction de ces usages. La démarche de diversification devrait donc s'accompagner de :

- La recherche, *via* des observatoires de pratiques ou des expérimentations ciblées, de démarches méthodologiques d'identification de nouvelles espèces ciblées pour de nouveaux services, et la description de ce que peuvent être ces services ayant un impact direct sur l'amélioration des conditions sanitaires (effets allélopathiques, effets précédents, accueil d'auxiliaires, plantes pièges) ;

- Le développement de méthodologies d'appréciation de ces services en termes de réduction potentielle d'une part des épidémies, d'autre part de l'usage des intrants phytosanitaires ;
- Le développement de programmes ciblés d'amélioration des espèces utilisées pour les intercultures, les couverts végétaux, et sur l'appréciation de la valeur du matériel génétique pour sa contribution à la diversification des systèmes. Une évolution intéressante consiste à les considérer non plus comme curatifs d'un impact généré par la culture précédente, mais bien au travers des différents services environnementaux qu'ils peuvent apporter. Ceci conduit à une approche fonctionnelle et à un criblage nouveau des espèces et matériels végétaux disponibles. Plusieurs projets de recherche ont été retenus dans ce domaine au cours des AAP CTPS récents, dont 2 au titre de l'année 2013 et 1 au titre de l'année 2014 ;
- Le développement de méthodologies spécifiques de sélection (en associations, rotations, intercultures, couverts végétaux, cultures compagnes ou relais, etc.) pour l'amélioration de la qualité des services fournis ;
- L'amélioration de la connaissance de la diversité génétique et de l'offre variétale des espèces de diversification ciblées, y compris en termes de résistances disponibles permettant de faire face à d'éventuels transferts de pathogénies entre espèces ou à de nouvelles émergences liées à un usage accru de ces espèces dans les systèmes. Un effort doit en particulier être dédié à l'acquisition de références sur des espèces mineures, dites « orphelines de recherche ». Cet effort pourrait s'insérer dans une stratégie nationale voire européenne, en vue d'assurer une recherche associant secteurs public et privé, pour parvenir à mettre sur le marché des variétés pour une gamme étendue d'espèces permettant la diversification des systèmes de production. Ceci inclut également les étapes d'enregistrement des variétés et de contrôle et certification des semences, où une proportionnalité doit être envisagée. Dans le domaine de l'innovation variétale, ceci peut s'appuyer sur des collectifs d'agriculteurs *via* des démarches de sélection participative. Une question spécifique du financement de la sélection et de la recherche sur ces espèces orphelines est posée et elle pourrait trouver une réponse dans un fonds de mutualisation géré par l'interprofession semencière.

1.2 *Identifier de nouveaux leviers liés à la plante pour une limitation des intrants phytosanitaires*

La capacité des leviers traditionnellement explorés (résistances qualitatives et quantitatives) à concrètement réduire l'usage des intrants se heurte à de fréquents défauts de connaissances concernant la diversité et la stabilité de l'expression des résistances. Une meilleure connaissance (mode de contrôle, efficacité, stabilité en fonction des contextes pédo-climatiques et de la variabilité du pathogène) des résistances génétiques portées par les variétés et l'amélioration de la transmission de la description des variétés inscrites à destination des agriculteurs et des prescripteurs doit permettre d'utiliser plus efficacement cette information pour une meilleure protection des cultures. Ceci doit en particulier concerner la caractérisation des gènes de résistance présents dans les variétés et les conditions éventuelles devant accompagner leur déploiement, tel que le maintien ou non d'une protection phytosanitaire minimale pour garantir la durabilité.

D'autres leviers liés à la plante, alternatifs ou complémentaires à la résistance, sont mobilisables pour un meilleur contrôle des épidémies, une meilleure efficacité des traitements phytosanitaires, ou un accueil optimisé d'auxiliaires :

- Des traits d'architecture et de développement de la plante, considérés à différentes échelles (couvert, plante, organe) et de façon dynamique au cours d'une période culturale peuvent être pris en compte *via* différentes démarches expérimentales et/ou de modélisation telles que (i) l'identification *via* l'expérimentation de traits architecturaux potentiellement impliqués dans un ralentissement ou un contrôle amélioré des épidémies, *via* des processus directs (dispersion de spores ou d'agents ravageurs dans un couvert) ou indirects (conditions microclimatiques, pénétration des produits phytosanitaires, capacité d'invasion d'un auxiliaire) ; (ii) l'exploration du champ des possibles en termes de variabilité génétique disponible existante (collections de ressources génétiques, de mutants), virtuellement souhaitable (paramétrage des modèles), et potentiellement à créer pour les traits architecturaux ou de développement d'intérêt. Cette réflexion sur les traits architecturaux peut aussi trouver une application dans le domaine de la gestion des adventices en modifiant la capacité concurrentielle des espèces cultivées. Une analyse des interactions entre modifications architecturales, protection chimique et désherbage mécanique est alors nécessaire, intégrant la capacité à modifier la structure spatiale du couvert par les pratiques culturales ;
- Des traits d'interaction avec d'autres microorganismes du génotype hôte lui permettant de recruter des communautés microbiennes (phyllosphère, rhizosphère) plus ou moins favorables au développement des épidémies pathogènes.

Quels que soient les leviers, il est indispensable de considérer le développement de méthodes (i) de phénotypage de précision et/ou haut débit pour la mesure dynamique de ces traits de résistance, d'architecture et de développement adaptées aux analyses de génétique, à la sélection et aux processus d'inscription ; (ii) d'instrumentation des expérimentations permettant un suivi dynamique des conditions de ce phénotypage ; et (iii) de génotypage ciblé pour le diagnostic moléculaire chez la plante d'allèles à des gènes de résistance, d'architecture et de développement, autorisant une description des variétés inscrites et/ou présentées à l'inscription.

Par ailleurs, un investissement accru doit être porté à la qualité sanitaire et physiologique des semences et plants, en particulier sur les technologies qui permettent (i) d'améliorer la vitesse de germination et de levée, réduisant ainsi l'exposition de la jeune plantule à des phases délicates ; et (ii) d'optimiser la protection *via* l'enrobage des substances biologiques, biochimiques ou minérales pour améliorer la croissance au stade jeune ou favoriser la protection des cultures. Peu de travaux de recherche sont conduits dans ce domaine dans les établissements publics de recherche mais ce secteur qui soulève des questions de recherche nombreuses dont certaines sont très fondamentales est très actif dans l'industrie.

Enfin, le mode d'inscription des variétés doit être revu dans un objectif de diversification et d'adaptation de l'offre aux nouveaux besoins, ce qui doit amener à réfléchir à la façon de (i) modifier le filtre de l'inscription pour accroître la richesse de l'offre ; (ii) renseigner la durabilité des résistances ; (iii) faire évoluer le protocole des essais variétaux pour passer de l'évaluation d'une valeur moyenne à la connaissance des interactions génotype $\times$ milieu $\times$ conduite et, en conséquence, à la notion de « variété optimale » à celle de « portefeuille variétal ». Ce dernier point n'est pas de la responsabilité de l'inscription aux catalogues (ou registre) national et européen, puisqu'il va relever de la post-inscription. Toutefois, il faut que la méthode d'évaluation et les informations collectées permettent de construire un tel portefeuille. L'analyse de l'interaction doit permettre de documenter la performance dans des systèmes cohérents vis-à-vis des objectifs du Plan Écophyto. Il faut donc en

permanence une évolution des conditions d'évaluation (protocoles, structure du réseau), et cette évolution doit mobiliser l'ensemble des acteurs, en particulier ceux du développement, des instituts techniques agricoles et de la distribution (coppératives, négociants).

1.3 Identifier de nouveaux modes de déploiement et de combinaisons de ces espèces et de ces traits variétaux

L'intégration de nouvelles espèces et/ou de nouveaux traits dans les systèmes doit s'accompagner de préconisations en termes de mode de déploiement, *i.e.* d'un cahier des charges de pratiques qui, en l'accompagnant, vont permettre de préserver la restitution d'un service, l'expression d'une résistance, ou les effets liés à de nouveaux traits.

Les lignes de recherche peuvent porter sur :

- L'évolution des systèmes d'évaluation, qui doit également impliquer une meilleure caractérisation des conditions biophysiques des milieux d'évaluation. L'analyse des données doit prendre en compte ces co-variables et permettre de disposer d'une meilleure lisibilité de l'adaptation des variétés aux conditions biotiques et abiotiques d'un ensemble de régions agricoles ;
- L'amélioration de l'efficacité et de la durabilité de l'expression des résistances, *via* la comparaison de différentes méthodologies de cumul des effets de gènes de résistance (i) par pyramidage dans un unique génotype, (ii) par des associations intraspécifiques variétales ou de lignées portant des gènes de résistance complémentaires, (iii) par des rotations utilisant les gènes de résistance d'une même espèce, voire les gènes de résistance de différentes espèces à un même agent pathogène, de manière successive, sur la structuration et l'évolution de populations pathogènes. De la même manière, les effets sur les populations de pathogènes et ravageurs du déploiement de leviers liés à l'architecture et/ou au développement de la plante, éventuellement en combinaison avec des gènes de résistance, méritent d'être explorés. La mise à disposition de méthodes de caractérisation de la durabilité des résistances constitue un enjeu majeur, car il n'est pas acceptable d'avoir une caractérisation *a posteriori*, *i.e.* quand la résistance a été contournée. Ceci est à traiter avec le méta-programme Inra SMaCH (Sustainable Management of Crop Health, action clé PRESUME sur la gestion durable des résistances), en réfléchissant à la complémentarité de l'ensemble des leviers ;
- La capacité de la combinaison des espèces, des traits au sein de ces espèces et de leurs modes de déploiement à gérer des complexes de bioagresseurs, interagissant entre eux (synergies, antagonismes) et conjointement, successivement ou alternativement avec la plante. Cela pose en particulier la question des coûts physiologiques liés à la multirésistance, et de la stratégie employée et des compromis à envisager pour faire face aux complexes (résistance élevée à un ou deux pathogènes ou ravageurs réputés économiquement importants, ou résistance moyenne à un ensemble plus large de bioagresseurs, *fitness* de la plante et capacité à maintenir un niveau élevé de productivité dans ces différents compromis) ;
- La capacité de la combinaison des espèces, des traits au sein de ces espèces et de leurs modes de déploiement à autoriser une modification des programmes de traitements phytosanitaires (fréquence, positionnement, seuils de déclenchement, dosage, efficacité) lors du déploiement des leviers liés à la plante (résistance, architecture, développement).

2 Biocontrôle

Le biocontrôle recourt à des moyens naturels pour la protection des plantes en privilégiant les mécanismes et interactions qui régissent les relations entre espèces. Son principe est fondé sur la gestion des équilibres des populations de bioagresseurs plutôt que sur leur éradication. Règlementairement, il inclut l'utilisation d'organismes vivants (micro- et macroorganismes) et de produits issus du milieu naturel (biologique ou minéral), dont certains ont des effets de régulation biologique : composés sémiochimiques, stimulateurs de défense des plantes (SDP). Il est légitime, pour la recherche, d'explorer aussi des solutions innovantes au-delà de ce cadre réglementaire, comme l'utilisation de macroorganismes végétaux (« plantes pour le biocontrôle »). Il existe par ailleurs un continuum entre le biocontrôle et la lutte biologique par conservation qui met en œuvre des pratiques favorisant les organismes auxiliaires indigènes présents dans l'environnement pour réguler les bioagresseurs.



L'évolution récente de la réglementation sur les produits phytopharmaceutiques, tant au niveau national qu'europpéen, a créé des conditions favorables à un essor du biocontrôle qui s'est déjà manifesté, surtout en ce qui concerne les biopesticides. Mais, dans l'agriculture française actuelle, le biocontrôle n'apporte pas encore, et de loin, la contribution attendue aux objectifs d'Écophyto. **Il faut stimuler l'innovation par la recherche, tant pour élargir l'éventail des offres de biocontrôle, afin de mieux répondre à la diversité des usages à couvrir, que pour apporter les connaissances et méthodes nécessaires à une utilisation accrue des solutions disponibles.** Ces deux volets sont liés : l'investissement dans l'innovation est conditionné par la perspective d'un taux d'adoption élevé.

Les méthodes de biocontrôle, du fait de leurs caractéristiques, peuvent particulièrement bénéficier d'une contribution de la recherche :

- **Elles mettent en jeu des mécanismes d'interaction et de régulation plus complexes que l'inhibition directe d'un bioagresseur et requièrent donc un bagage de connaissances important et diversifié, pour leur conception, leur évaluation et leur mise en œuvre ;** la recherche peut produire ces connaissances en s'appuyant sur des bases théoriques et des recherches d'amont qui sont parfois à conforter ; elle peut aussi exploiter les expériences innovantes réalisées par les praticiens dans leurs conditions spécifiques ;
- **Elles ont souvent une efficacité ou un domaine de validité plus limités que les produits phytopharmaceutiques et sont donc rarement utilisables en substitution, mais ont besoin d'être combinées à d'autres méthodes à efficacité partielle dans des stratégies intégrées ;** la recherche peut contribuer à concevoir ces stratégies et à les évaluer en prenant en compte les effets systémiques de l'introduction du biocontrôle ;
- **Leurs effets non intentionnels posent des problèmes spécifiques,** à l'analyse desquels la recherche peut apporter son appui ;
- **Leur mise en œuvre a des contraintes différentes par rapport aux produits phytopharmaceutiques et elles ont donc du mal à s'intégrer dans les pratiques si on ne va pas au-delà des approches conventionnelles du transfert de technologie ;** une recherche combinant aspects techniques et socio-économiques et s'intéressant à la fois aux

préoccupations spécifiques des agriculteurs et à l'implication des acteurs du système sociotechnique qui les environne peut fournir des clés pour une meilleure adoption.

Par le passé, les principaux succès du biocontrôle ont souvent concerné des usages mineurs où la concurrence avec les solutions chimiques était faible. **Pour que le biocontrôle devienne un levier majeur de l'atteinte des objectifs d'Écophyto, il faut en faire une ressource fiable qui sera mobilisée même là où l'offre en produits phytopharmaceutiques existe, sera intégrée dans des stratégies de protection et contribuera à la conception de systèmes de culture économes en intrants phytosanitaires.**

Les raisons pour lesquelles le biocontrôle peine à s'imposer face aux produits phytopharmaceutiques sont multiples, mais elles relèvent d'un contexte général : conformées depuis 40 ans aux caractéristiques des méthodes chimiques, **les règles et les façons de faire à tous les niveaux de la chaîne de l'innovation (conception, expérimentation, homologation, évaluation, conseil, adoption) ont besoin d'être adaptées aux spécificités du biocontrôle.** Des projets de recherche apportant des réponses sur des situations concrètes exemplaires contribueront à élaborer un corpus de méthodes et de références qui faciliteront ces adaptations de manière plus générique.

Les priorités de recherche s'organisent donc autour de quatre objectifs :

2.1 Diversifier et améliorer l'offre des solutions de biocontrôle

L'offre actuelle est insuffisante et de nombreux usages restent dépourvus de solutions de biocontrôle. Il est nécessaire d'**identifier les usages qu'il serait utile de couvrir en priorité**, en considérant à la fois le potentiel d'utilisation des nouvelles méthodes et les bénéfices environnementaux attendus, notamment lorsque ces méthodes permettraient de réduire l'usage des matières actives les plus préoccupantes.

La gamme des agents biologiques et des substances sur lesquels repose l'offre actuelle est limitée, résultant souvent de prospections anciennes. De plus, les contraintes accrues auxquelles se heurte le recours à des organismes exotiques incitent à s'intéresser davantage à la biodiversité présente sur le territoire national. Il y a donc lieu d'**encourager des opérations de prospection**, qu'elles portent sur des familles d'organismes, sur leurs métabolites actifs ou sur de nouveaux sémiochimiques, en s'inspirant éventuellement de processus de régulation existants dans les agrobiocénoses. Ces prospections pourraient par exemple s'inspirer de produits dont le développement a été un succès, exploiter des outils permettant de caractériser des modes d'action recherchés ou explorer des groupes taxonomiques *a priori* intéressants.

La définition de cribles visant à rendre ces prospections plus rapides, plus efficaces et mieux ciblées serait une retombée de ces travaux ayant une valeur méthodologique plus générique. Ces cribles doivent inclure des critères permettant d'envisager le développement des produits jusqu'au stade industriel dans des conditions économiquement viables. Ils doivent aussi prendre en considération les facteurs de risque qu'il faudra par la suite argumenter dans les dossiers d'homologation.

Certaines **innovations technologiques** peuvent faciliter la mise au point de solutions de biocontrôle :

- L'utilisation des Nouvelles Génération de Séquençage (NGS) ou le séquençage de génomes microbiens complets pour **améliorer la caractérisation moléculaire des macro- et micro-organismes utilisés dans le biocontrôle jusqu'à des niveaux infra-spécifiques**, en lien avec

leurs propriétés biologiques, afin de répondre aux besoins de l'homologation, du contrôle de la qualité, de la propriété intellectuelle et de suivis qualitatifs ou quantitatifs sur le terrain⁴⁰ ;

- **Une meilleure caractérisation moléculaire et biochimique des modes d'actions**, spécialement pour les microorganismes dans les conditions de leur utilisation *in natura* ;
- Des **procédés de formulation** fondés sur des propriétés chimiques, par exemple pour assurer une diffusion contrôlée de composés sémiochimiques, ou sur une meilleure maîtrise de la physiologie et de l'écologie en ce qui concerne les organismes vivants⁴¹ peuvent être déterminants pour une mise œuvre pratique du biocontrôle.

2.2 *Fiabiliser les solutions de biocontrôle en évaluant leurs performances et leurs effets non intentionnels*

L'évaluation des méthodes de biocontrôle pose des problèmes particuliers liés à leur efficacité partielle et, plus encore, à ce que cette efficacité dépend d'un ensemble de paramètres contextuels incluant, selon les cas : la densité, le stade de développement et la diversité génétique des populations à contrôler ; les caractéristiques génétiques et physiologiques de la culture ; les conditions d'environnement physico-chimique, édaphique et agronomique ; mais aussi certaines composantes de la biocénose présentes dans l'écosystème.

Pour l'évaluateur, il s'agit donc de déterminer les paramètres en jeu et, pour chacun d'eux, les fenêtres de valeurs à l'intérieur desquelles les performances de la méthode sont optimales. **Pour fiabiliser la méthode, l'enjeu est de bien cerner son domaine de performance**, éventuellement pour l'élargir par une amélioration technique, et, en tout cas, pour fournir à l'utilisateur des éléments de décision permettant de réduire les aléas et les risques d'échec inexplicé. L'objectif ne se limite donc plus à évaluer une performance mais à **produire un guide d'évaluation et les références (mode d'emploi, règles de décision, Outils d'Aide à la Décision) nécessaires à l'élaboration du conseil délivré à l'agriculteur**.

Ceci conduit à **élaborer des dispositifs expérimentaux**, différents de ceux utilisés pour l'évaluation des intrants chimiques classiques. Par exemple, concernant les SDP, il demeure encore difficile de prédire leur comportement au champ à partir des essais de laboratoire en conditions contrôlées ; d'où l'intérêt de **développer le phénotypage de la réponse des plantes aux SDP** dans des conditions simulant la variabilité et la complexité d'un agrosystème pour améliorer la prédiction de leur efficacité pratique.

L'analyse des effets non intentionnels (ENI) est le complément indispensable de l'évaluation des performances pour sécuriser l'utilisation du biocontrôle. Parmi les ENI figurent les effets sur l'environnement – notamment la biodiversité non cible – y compris les effets sur l'environnement agricole proche, mais aussi les effets sur les populations du bioagresseur cible dont l'évolution peut compromettre la durabilité du biocontrôle. Les changements éventuels de prévalence entre bioagresseurs qui peuvent résulter du passage à des méthodes de biocontrôle très spécifiques méritent également d'être envisagés.

⁴⁰ Question de recherche inscrite dans l'APR CASDAR IT de 2013.

⁴¹ Des recherches sur la physiologie et l'écologie microbiennes menées en Suède ont des retombées concrètes en matière de lutte biologique contre les maladies. Ce thème mériterait d'être encouragé.

2.3 *Elaborer des stratégies de protection intégrée valorisant la contribution du biocontrôle*

L'**insertion d'une méthode de biocontrôle dans une combinaison de différentes méthodes à efficacités partielles** est particulièrement pertinente pour la valoriser, spécialement quand sa « fenêtre de contribution » est trop restrictive pour qu'on puisse se reposer entièrement sur elle. Les méthodes introduites en combinaison peuvent viser à **établir les conditions d'efficacité du biocontrôle** (par exemple abaisser la pression d'inoculum par une méthode prophylactique), à **limiter les pertes** en cas d'efficacité sous-optimale du biocontrôle (variété tolérante par exemple) ou à **en prendre le relais**. Des aménagements de l'écosystème et l'introduction de certaines espèces végétales font aussi partie des méthodes qui peuvent **potentialiser la lutte biologique** en cours de saison ou favoriser son maintien sur une base pluriannuelle.

La notion de stratégie intégrée suppose de porter attention aux incompatibilités éventuelles des différentes méthodes mises en combinaison, mais aussi aux interférences possibles avec les méthodes de contrôle des autres bioagresseurs de la même culture, voire éventuellement avec des pratiques de protection utilisées sur les cultures voisines ou les cultures suivantes.

2.4 *Faciliter et encourager l'adoption du biocontrôle par les agriculteurs*

Les obstacles que peuvent rencontrer les agriculteurs pour introduire dans leurs pratiques les solutions de biocontrôle, même lorsque celles-ci sont déjà sur le marché, sont de divers ordres : déficit de connaissances et difficultés de mise en œuvre dans de bonnes conditions d'efficacité, contraintes objectives d'organisation du travail et de compatibilité avec les autres actions pratiquées, mais aussi hésitation à prendre des risques avec des méthodes dont les performances leur paraissent trop incertaines.

Les agriculteurs ne sont pas seuls en face de ces difficultés et la recherche est invitée à s'intéresser aussi aux contributions que pourraient ou devraient apporter les différents acteurs du système sociotechnique qui les environne, en termes de formation, d'information, de conseil contextualisé, de démonstration, mais aussi de dynamique (éventuellement de coordination) territoriale. On ne doit pas oublier le rôle qu'ont à jouer les dispositifs Écophyto (Certiphyto, réseau d'épidémiologie-surveillance, Écophyto-PIC, réseaux DEPHY) dans cet accompagnement. On doit s'intéresser également aux effets de la dynamique des marchés (place des produits de biocontrôle dans les intrants, place des produits agricoles issus de pratiques recourant au biocontrôle) et aux mesures incitatives (signes de qualité ou certification, incitations financières) qui peuvent être portées par l'aval des filières et par les politiques publiques.

Des recherches envisageant conjointement les aspects techniques et socio-économiques et laissant une large place aux acteurs professionnels pourraient **établir un diagnostic des freins et obstacles objectifs à l'adoption du biocontrôle, évaluer les voies de progrès et proposer des leviers opérationnels et des outils à mettre en œuvre**.

Les réponses à l'**APR PSPE 2 « Favoriser l'essor du Biocontrôle »** lancé début 2014⁴² ont démontré l'existence d'un potentiel, tant de la recherche publique que des partenaires du développement et

⁴² Cet APR portait sur l'essentiel des 4 objectifs de recherche développés ici ; en réponse, 72 lettres d'intention ont été reçues et 21 projets définitifs ont été soumis.

des industriels privés, y compris de TPE ou *start-up* françaises, et leur capacité de mobilisation. Néanmoins, pour mieux répondre aux priorités identifiées ici, il est nécessaire d'infléchir l'offre de recherche sur les points suivants :

- Mettre d'avantage l'accent sur les usages les plus consommateurs de produits phytopharmaceutiques : maladies et adventices, au vignoble et en grandes cultures ;
- Faire évoluer les schémas expérimentaux pour mieux les adapter à la logique de méthodes de biocontrôle utilisées en combinaison dans des stratégies intégrées ;
- Recruter au-delà des communautés scientifiques (biologistes et chimistes) traditionnellement engagées dans les domaines du biocontrôle : des approches pluridisciplinaires impliquant agronomes, économistes et sociologues sont indispensables pour répondre avec pertinence aux priorités 3 et 4, peu ou pas couvertes dans l'APR 2014.

3 Développement et combinaison d'outils dans le cadre de l'agriculture de précision

Les outils développés dans le cadre de l'agriculture de précision mobilisent des équipements d'assistance basés, (i) sur des dispositifs distants (satellites pour la télédétection, antenne de géopositionnement pour la proxidtection), (ii) des dispositifs mobiles temporaires (drones), et (iii) des dispositifs de proximité (capteurs). Le développement des outils des technologies de l'information et de la communication (TIC) modifie les approches dans le domaine de la protection des plantes contre les bioagresseurs, avec la capacité pour les agriculteurs et les conseillers d'accéder



en temps réel à une quantité accrue d'informations stratégiques pour la prise de décision. Il existe de nombreux développements technologiques en entreprises (*start-up*, PME, ...) ou dans des organismes de recherche en dehors de la sphère agronomique.

Notre réflexion doit intégrer l'émergence de ces nouvelles technologies, en particulier dans les domaines des capteurs et des TIC. Elles permettront d'agir à des niveaux clefs

pour réduire l'utilisation des intrants phytosanitaires à savoir :

- Identification précoce et référencement des attaques de bioagresseurs ;
- Cartographie du risque phytosanitaire;
- Élaboration de modèles ajustables au cours du temps grâce aux données transmises rapidement ou issues de capteurs pour ensuite réaliser des cartes de risques d'attaques par les bioagresseurs et de règles de décision pour gérer les attaques de manière ciblée ;
- Production de données pour les outils d'aide à la décision ;
- Développement de technologies d'application des intrants innovantes, performantes, fiables et faciles d'utilisation.

Les outils de l'agriculture de précision peuvent s'appliquer à la gestion de l'hétérogénéité en intra-parcellaire ou en inter-parcellaire selon la problématique. La gestion inter-parcellaire peut constituer un premier pas vers une prise en main du matériel par les agriculteurs.

La mise en œuvre de l'agriculture de précision par les agriculteurs modifie leur accès à l'information (gain en précision) et doit donc interagir avec leurs règles de décision, notamment dans le domaine de la protection des cultures. Il est donc nécessaire de revisiter les notions de seuils d'intervention et de passer d'une logique de seuils établis à la parcelle à des seuils déclinés à un niveau local très fin.

Les dernières générations d'équipements agricoles, mais aussi les systèmes centralisés de gestion de l'information, s'accompagnent de la constitution de bases de données absolument considérables. Ces données concernent l'utilisation des équipements agricoles, l'état global des végétations, mais aussi les suivis de contamination et d'attaque par les bioagresseurs. Comment mieux utiliser cette information pour délivrer aux opérateurs des clés pour mieux gérer la protection des cultures ? Comment exploiter ces masses considérables d'information pour produire des connaissances nouvelles ?

La technologie des capteurs connaît également un développement important. Quels seront les apports potentiels des capteurs embarqués couplés à l'application de produits phytosanitaires ? On peut citer ici les travaux de recherche sur les robots de désherbage ou encore les capteurs permettant de détecter, *via* l'analyse d'image, la présence de pathogènes et de ravageurs au sein d'un feuillage.

Dans le domaine des autoguidages, quels sont les rôles respectifs des investissements collectifs (antenne RTK) et des investissements individuels ? Ceci peut conduire à s'interroger sur les dynamiques nouvelles à attendre des fonctionnements collectifs (un nouveau rôle pour les CUMA ou autres structures collectives dans ce domaine). Ceci doit aussi conduire à étudier les conditions socioéconomiques de l'appropriation de ces méthodes par les agriculteurs.

L'agriculteur ne doit pas devenir un informaticien, cependant il est nécessaire de l'accompagner *via* du conseil et de la formation afin qu'il s'approprie les possibilités de ces nouvelles technologies.

Quelques questions clefs sont déjà posées à la recherche :

- **Comment détecter précocement des maladies ou des ravageurs** à l'aide de capteurs (par exemple par fluorescence) ou de kits analytiques (par exemple : Kit PCR en liaison avec les smartphones) avant l'apparition des symptômes et comment élaborer des cartes de risques de maladies ? Les attentes vis-à-vis de la recherche sont en particulier de contribuer à l'identification des données pertinentes à mesurer pour un diagnostic.
Concernant les capteurs, il y a des verrous scientifiques à lever pour leur mise au point ou pour le passage de ces capteurs du laboratoire au terrain. Ces capteurs pourront être embarqués sur machines, piétons ou statiques. D'autres verrous scientifiques à lever pour ces capteurs concernent le passage des signaux à un diagnostic spécifique sur un bioagresseur, puis du diagnostic à l'aide à la décision ;
- Les différents capteurs de mesure génèrent un grand nombre de données qui correspondent à des observations renseignant sur différents paramètres (météorologie, développement de la biomasse, développement des maladies...). Quelles méthodologies développer pour trier les données pertinentes et fiables et **élaborer des cartes de risques de développement des maladies ou des cartes de préconisations** qui permettront en temps réel d'élaborer un

conseil d'intervention ? D'autre part, comment élaborer des données pérennes fiables pour améliorer la démarche tactique de conseils ? De la co-construction entre agronomes, informaticiens et statisticiens est indispensable. ;

- Comment **coupler les informations issues des différents capteurs** et comment utiliser ces données de façon pertinente dans les différents modèles pour produire des OAD ? En grandes cultures il faut noter qu'en dehors du blé pour un certain nombre de cultures (par ex. : orge) il existe peu de préconisations permettant une gestion à la parcelle ; il en est de même en viticulture, arboriculture et maraîchage ;
- Comment **combiner les observations de terrain, les données issues des capteurs, les modèles de développement des bioagresseurs et les progrès technologiques** sur les machines pour développer des outils facilement utilisables par les agriculteurs pour réduire en toute sécurité l'utilisation des intrants phytosanitaires ? C'est une approche pluridisciplinaire qu'il faut mettre en œuvre en plaçant les utilisateurs au centre du dispositif. ;
- Pour la phase d'application des intrants phytosanitaires, comment améliorer les technologies existantes et/ou développer de nouvelles technologies fiables, robustes, simples d'utilisation et prenant en compte les besoins des utilisateurs pour **augmenter la précision des applications** permettant ainsi de limiter l'utilisation des pesticides grâce à la précision de l'application et la limitation des fuites dans l'environnement ? La viticulture et l'arboriculture sont des secteurs particulièrement concernés par cette question.

Chapitre IV – Durabilité de l’efficacité des méthodes de lutte et robustesse des systèmes de culture vis-à-vis de l’évolution des cortèges et populations de bioagresseurs

Les problèmes phytosanitaires auxquels doit faire face l’agriculture évoluent dans le temps. Ces évolutions concernent la diversité spécifique du cortège des bioagresseurs affectant une culture ou un système de culture (évolution de la flore adventice, du spectre des ravageurs et des maladies, ...), ainsi que la diversité des génotypes au sein de chaque espèce de bioagresseur (par exemple apparition - ou augmentation de fréquence - de souches résistantes à un pesticide ou à un agent de biocontrôle, ou de races contournant une résistance variétale).

Ces évolutions sont principalement la conséquence des pressions sélectives qu’exercent sur les



bioagresseurs les systèmes de culture, et tout particulièrement les méthodes de lutte, avec pour résultat d’en réduire l’efficacité. Une première approche de la durabilité de l’efficacité cherche donc à prévenir ces évolutions : si on en comprend les mécanismes, on peut en limiter l’importance ou les retarder en concevant une **gestion durable des méthodes de lutte**. Mais d’autres évolutions résultent de facteurs peu maîtrisables tels que le changement climatique ou l’intensification des échanges commerciaux,

et se traduisent par des invasions de nouvelles espèces ou de génotypes à propriétés nouvelles au sein de populations d’espèces déjà présentes. Une deuxième approche consiste à **surveiller ces évolutions et à en anticiper les conséquences** pour s’y adapter plus efficacement.

Cette problématique de la durabilité de la protection des cultures a déjà été abordée, mais de façon partielle, dans des chapitres précédents (suivi de l’évolution des bioagresseurs dans le Chapitre I, durabilité des résistances variétales dans le chapitre III). Elle n’est pas non plus nouvelle, mais elle mérite d’être revisitée dans le contexte du plan Écophyto, et ce à plusieurs titres :

- Les changements qui sont introduits dans les méthodes de lutte (réduction du spectre des pesticides disponibles, réduction des doses appliquées, recours accru aux résistances variétales, passage à des méthodes de lutte biologique ayant parfois une cible très spécifique) sont de nature à modifier les pressions de sélection exercées sur les bioagresseurs et nécessitent une vigilance accrue sur de possibles effets non intentionnels ;
- Dans le cadre de la protection intégrée, la combinaison de méthodes de lutte à effets partiels agissant sur les bioagresseurs selon des mécanismes différents et l’importance accrue donnée à la prophylaxie peuvent être utilisées pour contrecarrer l’évolution des bioagresseurs d’une manière qui mérite d’être raisonnée et optimisée ;
- Les stratégies de protection intégrée élaborées en fonction du cortège de bioagresseurs existant peuvent se trouver brutalement remises en cause par un changement imprévu, tel que l’apparition soudaine d’une espèce ou d’une race nouvelle très dommageable ; si on veut

éviter d'avoir comme seul recours un retour massif à l'utilisation de pesticides, il faut anticiper sur les alternatives à la lutte chimique qui seraient mobilisables ;

- Au final, dans la mesure où l'atteinte des objectifs du plan passe par une reconception des systèmes de culture, il convient d'intégrer cette dimension de « durabilité » dès la phase de conception et d'évaluer la robustesse des stratégies proposées au regard de l'évolution des contraintes phytosanitaires (mais aussi de celles liées à d'autres facteurs tels que le climat) dans le temps.

Les enjeux de la prise en compte de la durabilité sont importants :

- Préservation de la ressource limitée en gènes de résistance, à ne pas dilapider par une gestion imprudente ou hâtive ;
- Maintien de l'efficacité de pesticides, devenus plus rares, mais dont un usage approprié contribue à la protection intégrée ;
- Cohérence et complémentarité des approches agronomiques au sein des itinéraires techniques retenus ;
- Pérennité des investissements dans la conception et l'expérimentation de stratégies de protection en portant attention à leur robustesse ;
- Capacité de réaction à des processus invasifs éventuels pour en limiter l'impact économique.

Cependant, on doit constater que la question de la durabilité tend souvent à être négligée au regard de la recherche de l'efficacité ou d'une économie sur le court terme. Il faut donc s'intéresser aux moyens **d'en favoriser une meilleure appréhension** – notamment sur les échelles larges de temps (rotation) et d'espace (parcellaire agricole).

1 Prévenir le contournement des méthodes de lutte par une gestion durable

Dans le cadre du plan Écophyto, il convient d'examiner comment les changements dans l'usage des différentes méthodes de lutte (notamment génétiques, biologiques, agronomiques et chimiques) peuvent affecter leur durabilité intrinsèque. Mais le passage à des stratégies de protection intégrée conduit à s'intéresser aussi à la durabilité de ces stratégies prises globalement. Cela revient notamment à savoir comment ajuster la durabilité intrinsèque de chaque méthode au contexte de son déploiement. Ainsi, le recours à la lutte chimique peut permettre de diminuer la charge parasitaire et donc le risque de contournement variétal ; réciproquement, l'usage de variétés résistantes peut réduire la nécessité de recourir à la lutte chimique. Globalement, comment optimiser la combinaison de leviers de nature différente pour une meilleure maîtrise de l'évolution des populations de bioagresseurs ?

Or cette question est loin d'être triviale. D'un point de vue conceptuel, la substitution d'un moyen de lutte à effet fort contre différents moyens de lutte chacun à effet partiel ne fait pas consensus quant à l'aggravation ou non du risque d'évolution des bioagresseurs. D'un côté les pressions de sélection sont multipliées, de l'autre chacune prise isolément n'est pas totalement efficace et donc contournable par la fraction qui lui échappe. Peu de travaux théoriques réunissent les éléments permettant un cadrage dans l'évaluation du risque lié à différentes options.

1.1 Conception et gestion des résistances variétales dans un objectif de durabilité

Un recours accru aux résistances variétales est un des moyens privilégiés de réduire le recours aux pesticides. Ceci conduit à exposer davantage ces résistances au risque de contournement et impose de renforcer l'attention sur leur durabilité. Les recherches d'amont dans ce domaine ont permis des avancées sur trois questions clés⁴³.

- **Le choix des sources de résistance** : on ne s'arrête plus à l'opposition classique entre résistances quantitatives supposées durables et résistances majeures facilement contournables ; on peut déterminer une composante de durabilité intrinsèque à chaque résistance, liée au mécanisme mis en jeu et qui résulte de ce qu'il en coûte au parasite en termes de *fitness* pour contourner la résistance.
- **La construction de génotypes résistants** : la durabilité est affectée par le contexte génétique dans lequel se trouve le gène de résistance ; l'intérêt de combiner dans un même génotype plusieurs gènes à mécanismes de résistance différents et d'utiliser un fond génétique présentant un niveau de résistance quantitative suffisant se dégage comme une règle assez générale.
- **La gestion des variétés résistantes** : la distribution des résistances sur le terrain a une influence importante sur l'évolution des populations de pathogènes ; on peut prévoir l'impact du mode de déploiement des variétés dans le temps et dans l'espace pour retarder le contournement de leur résistance.

La mise en place d'une stratégie de lutte génétique durable repose sur une bonne coordination entre ces trois niveaux d'action qui impliquent respectivement des généticiens et physiologistes moléculaires pour l'identification de la durabilité des différentes sources de résistance, des améliorateurs pour la construction de variétés à génotype durablement résistant, des agronomes et des utilisateurs – agriculteurs, mais aussi fournisseurs d'intrants et de conseil - pour ce qui couvre les choix d'option de déploiement.

Compte tenu des projets déjà engagés dans le méta-programme SMaCH de l'INRA⁴⁴, dans le programme Agrobiosphère de l'ANR⁴⁵ et dans le programme CASDAR « semences et sélection végétale »⁴⁶, nous proposons de mettre ici l'accent sur les questions que soulève la mise en place d'une **stratégie coordonnée de lutte génétique durable** en termes :

- De **production de connaissances** sur la durabilité intrinsèque des variétés d'une part, sur le bénéfice comparé de différents scénarios de déploiement des variétés d'autre part ; ceci interroge notamment sur les méthodes expérimentales et/ou de modélisation à mettre en œuvre pour produire ces connaissances avec un degré de fiabilité suffisant ;
- De **dispositifs organisationnels et/ou réglementaires** à mettre en œuvre pour assurer la mise à disposition de ces informations ; il s'agit de faire en sorte que les utilisateurs aient une connaissance suffisante des résistances qu'ils utilisent pour raisonner leur mise en œuvre et

⁴³ Cf. le séminaire international Plant Resistance Sustainability, INRA, La Colle s/Loup, 2012

⁴⁴ L'action clé PRESUME (Plant Resistance Sustainable Management <http://www.smach.inra.fr/Actions-cles/presume>) vise à promouvoir les recherches sur la gestion durable des résistances aux bioagresseurs en intégrant des travaux sur le dialogue moléculaire et sur les mécanismes moléculaires du contournement de la résistance, en identifiant des systèmes génétiques a priori durables, en définissant des prédictors ou des critères de durabilité, en élaborant des modes de gestion et de pilotage visant à préserver la durabilité des résistances, incluant des modes de conduite d'une culture et d'organisation de l'espace et du territoire.

⁴⁵ Projet GESTER « Gestion territoriale des résistances aux maladies en réponse aux nouvelles contraintes d'utilisation des pesticides en grande culture » 2011-2015

⁴⁶ « Une offre variétale pour les systèmes de culture de demain », volet II « gestion durable des résistances »

que les améliorateurs puissent anticiper les conditions d'utilisation de leurs variétés pour en tenir compte dans leur sélection ;

- De **modalités d'action publique**, incitative et/ou contraignante, visant à favoriser les options les plus favorables à une utilisation durable des résistances, au bénéfice de la collectivité (en lien avec le §3, *infra*). La mise en conformité des solutions adaptées avec la réglementation existante peut limiter le champ des possibles. Une partie de l'effort pourra donc viser à repérer les éléments réglementaires (dans le cahier des charges pour une appellation contrôlée, par exemple) qui peuvent limiter le déploiement d'une stratégie de gestion durable.

Il est entendu que cette réflexion sur la gestion de la durabilité des résistances s'inscrit dans un contexte de production intégrée où le levier génétique est combiné à d'autres leviers, y compris éventuellement chimique (*cf.* § 1.3 *infra*).

1.2 Prévention des résistances aux pesticides en lien avec l'évolution de la lutte chimique

L'industrie phytopharmaceutique travaille depuis longtemps avec la recherche publique et les services officiels pour élaborer des recommandations sur l'usage des pesticides visant à limiter l'apparition de souches de bioagresseurs résistantes. Les mesures recommandées portent en particulier sur la limitation de la fréquence d'usage d'une même substance, son emploi à pleine dose efficace et sur l'alternance/combinaison de substances à modes d'action différents. Pour certains groupes de pathogènes comme les champignons, elles sont modulées en fonction de la surveillance de la fréquence des résistances par zone.

L'évolution de la lutte chimique telle qu'elle résulte de l'adoption du « paquet pesticides » européen et du plan Écophyto français va modifier les pressions de sélection exercées par les pesticides sur les bioagresseurs, avec des conséquences sur l'apparition de résistances qui restent à évaluer en fonction des modalités de modifications d'usage. Sont particulièrement à prendre en compte les effets **d'applications à doses réduites**⁴⁷, de **l'appauvrissement de la diversité des modes d'action** des substances autorisées et de l'introduction de programmes **combinant pesticides chimiques et biologiques**.

Une évaluation des conséquences des nouveaux modes d'utilisation de la lutte chimique sur la durabilité de l'efficacité des pesticides et l'élaboration de nouvelles stratégies anti-résistance adaptées apparaît comme une priorité de recherche. Cette recherche pourra prendre en compte la combinaison avec d'autres modes de lutte (*cf.* § 1.3 *infra*).

1.3 Gestion durable du biocontrôle et des pratiques agronomiques

Comparativement aux leviers génétiques et chimiques, le biocontrôle et les méthodes agronomiques ont fait l'objet de beaucoup moins d'études quant aux risques de contournement auxquels ils sont exposés⁴⁸. Le développement attendu de ces méthodes sous l'impulsion d'Écophyto doit amener à engager des investigations sur les pressions qu'ils exercent sur les populations de bioagresseurs de façon à ouvrir des pistes de gestion durable.

⁴⁷ La politique de réduction des doses d'application repose sur le postulat que les doses homologuées visent à assurer la maîtrise du bioagresseur dans les pires cas d'infestation, rarement rencontrés dans la pratique, et se fonde sur des courbes dose-effet déterminées dans les conditions du champ. Comme on sait, mais à une échelle différente, que l'application de doses sublétales peut favoriser la sélection de résistants, la question se pose de savoir si la réduction des doses au champ crée ces conditions favorisantes.

⁴⁸ On a des exemples récents de contournement par des ravageurs d'agents de biocontrôle (*Bacillus thuringiensis*, carpovirusine).

1.4 *Raisonnement de la protection intégrée dans un objectif d'efficacité durable*

L'adoption de la protection intégrée conduit à privilégier la combinaison de méthodes de lutte différentes (y compris à effet partiel) et de méthodes prophylactiques. Dans la conception de systèmes de culture axés sur la protection intégrée, on recherche donc des effets de synergie dans l'efficacité combinée de différentes méthodes. La même réflexion doit être étendue aux effets de sélection sur les populations de bioagresseurs.

On tend à considérer généralement que des méthodes à effets partiels ont un effet sélectif plus modéré et que la combinaison de modes d'action différents s'appliquant à divers stades du cycle biologique réduit la possibilité d'adaptation d'un bioagresseur. Cependant, des études précises, y compris sur un cadre conceptuel, seraient nécessaires pour orienter le choix des modalités d'action vers les stratégies les plus durables.

Parmi les situations à étudier, la **combinaison des leviers génétique et chimique** apparaît prioritaire parce que déjà utilisée et appelée à se renforcer. Ainsi, l'utilisation de variétés résistantes pour réduire les doses ou les fréquences de traitement réduit-elle ou augmente-t-elle les risques de résistance aux pesticides ? Comment optimiser les apports chimiques lorsqu'il s'agit de protéger un gène de résistance majeur d'un risque de contournement ? Plus globalement, dans quelles conditions la combinaison des deux leviers assure-t-elle une amélioration de la durabilité de chacun d'eux ?

L'utilisation des méthodes de prophylaxie, qui visent à réduire la quantité d'inoculum initial avant le déclenchement des épidémies, mériterait également d'être regardée sous l'angle de ses effets qualitatifs sur la composition génotypique de cet inoculum. Ceci est d'autant plus vrai, que les formes de conservation hivernales fréquemment ciblées par ces méthodes prophylactiques correspondent chez de nombreux bioagresseurs à des formes de reproduction sexuée et donc à des phases de diversification génétique.

Plus globalement, des études sont à mener sur les facteurs de **robustesse des stratégies de protection** dans la conception des systèmes de culture. Là où la simple considération de l'efficacité immédiate peut se satisfaire de la substitution d'une méthode par une autre (par exemple une alternative à la lutte chimique), le risque d'évolution des bioagresseurs peut obliger à conserver une certaine redondance dans les moyens d'action⁴⁹.

2 Surveiller et anticiper l'évolution des bioagresseurs

L'émergence de génotypes nouveaux chez les bioagresseurs ou d'espèces nouvelles ne peut être totalement évitée par les méthodes préventives ; elle peut aussi résulter de facteurs indépendants des pratiques agricoles. Faute d'anticiper des mesures efficaces pour en limiter les effets, on risque de se retrouver dans une impasse technique pour des cultures orphelines où les solutions sont rares, ou de n'avoir d'autre choix qu'une intensification de la lutte chimique, comme cela a souvent été constaté. On doit donc s'assurer une information appropriée et rapide sur ces émergences et anticiper les mesures à prendre. Trois domaines d'investigation doivent retenir l'attention.

⁴⁹ Dans le 'redondant killing' le passage à travers les mailles du premier mécanisme est compensé par une mortalité sur le second filtre.

2.1 Méthodes rapides d'identification pour améliorer la surveillance des émergences

Qu'il s'agisse de caractériser des souches résistantes aux pesticides, des pathotypes contournant des résistances variétales ou même de détecter l'émergence de bioagresseurs nouveaux, éventuellement peu familiers aux observateurs, la seule caractérisation phénotypique peut manquer de rapidité, de précision ou requérir une expertise rare. Parallèlement à la poursuite de construction de clés d'identification phénotypiques et des outils correspondant pour leur interrogation, le développement d'outils moléculaires d'identification rapide (éventuellement directement accessibles au champ) et les conditions de leur mise en œuvre dans le cadre de la surveillance biologique du territoire constituent une priorité de recherche traitée dans le cadre du chapitre 2⁵⁰.

2.2 Stratégies d'intervention permises par une détection des émergences en temps réel

Le suivi des émergences est actuellement assuré par le réseau de suivi des effets non intentionnels dans le cadre de la surveillance biologique du territoire, mais aussi par d'autres acteurs (instituts techniques, firmes phytopharmaceutiques). L'analyse des informations recueillies est faite à un pas de temps annuel qui permet d'en tenir compte pour la saison de culture suivante. Dans certains cas, la connaissance de ces informations en cours de saison (à une échelle locale) permettrait d'optimiser les interventions⁵¹.

Par définition, les émergences se font à partir d'évènements rares et seule la multiplication des observations accroît systématiquement le pouvoir de détection et le démarrage précoce des actions prophylactiques adaptées. Un modèle économique de cette surveillance est à établir en prenant en compte le coût potentiel de chaque émergence à partir des ARP (Analyses de Risque Phytosanitaire). Enfin, des approches multi-bioagresseurs assureraient une vigilance non seulement sur les organismes ciblés mais aussi sur d'autres, permettant le suivi d'un cortège élargi d'organismes actifs sur la santé des cultures.

2.3 Caractérisation des risques d'établissement de nouveaux bioagresseurs

Les recherches sur la biologie de l'invasion montrent que la phase d'établissement est particulièrement critique pour les populations colonisatrices, tant sur un plan dynamique que génétique : à ce stade, les conditions environnementales rencontrées peuvent être déterminantes pour l'installation d'un nouveau bioagresseur⁵².

Des études ciblées sur des envahisseurs potentiels particulièrement préoccupants, en lien avec les ARP, pour préciser les conditions favorisant ou défavorisant la phase d'établissement, auraient une double finalité :

- Identifier les caractéristiques des systèmes de culture les rendant propres à résister à l'envahissement pour favoriser la prise en compte de ces conditions dans la conception de systèmes de culture axés sur la protection intégrée ;

⁵⁰ Ce thème fait l'objet de l'action clé Sys3D du métaprogramme SMaCH : <http://www.smach.inra.fr/Actions-cles/sys3d>.

⁵¹ A titre d'exemple, des recherches sont conduites en Hollande visant à coupler les avertissements mildiou à une identification des pathotypes pour ne traiter qu'en présence d'une race contournant la résistance des variétés cultivées dans un bassin de production.

⁵² Exemple trivial : la présence ou non d'une monoculture de maïs pour la chrysomèle des racines du maïs.

- Identifier les voies d'entrée préférentielles pour orienter la surveillance vers les zones de probabilité maximale de détection précoce, vers les filières ainsi que les cultures préférentiellement impliquées.

Une attention particulière doit être portée aux risques d'émergences sur les espèces de diversification nouvellement introduites pour contribuer notamment à la maîtrise des bioagresseurs des cultures majeures.

3 Favoriser les arbitrages en faveur de la durabilité

Les acteurs concernés ont souvent des difficultés à s'approprier les enjeux de la durabilité. De plus, les agriculteurs modifiant leurs méthodes de phytoprotection à l'incitation du plan Écophyto risquent d'être plus attentifs au maintien de l'efficacité économique immédiate qu'à des arbitrages en faveur d'une gestion durable.

On peut identifier au moins quatre types d'obstacles à cette appropriation :

- En réduisant la probabilité d'une évolution défavorable chez le bioagresseur, il s'agit de se prémunir contre un *aléa* qui est souvent difficile à appréhender expérimentalement ;
- Il faut arbitrer entre efficacité immédiate et préservation de celle-ci pour *le futur*, à une échéance qui reste incertaine ;
- Les efforts demandés sont individuels, mais le bénéfice attendu concerne la préservation d'un bien commun (l'efficacité d'une méthode de lutte) qui amène des arbitrages entre acteurs (applicateur, prescripteur, vendeur...) ayant des intérêts particuliers différents (« tragédie des biens communs ») ;
- Les choix à faire sont collectifs à l'échelle des populations du bioagresseur concerné (en général l'échelle territoriale au moins) ce qui pose des enjeux de coordination des acteurs.

Ceci doit conduire à s'interroger sur les conditions pouvant favoriser un arbitrage en faveur de la durabilité, notamment en termes :

- De qualité et réactivité des informations fournies à l'appui des choix proposés,
- D'implication des formateurs et des conseillers,
- De démarches de co-construction collective des alternatives avec les acteurs à mobiliser,
- De dispositifs de coordination de ces acteurs et d'incitation publique,
- De dispositions réglementaires d'accompagnement (on pourra s'inspirer de l'exemple des 40 mesures du plan antibiorésistance).

Chapitre V – Les dimensions socio-économiques des transitions vers une protection économe en pesticides : changements des pratiques, conseil, formation, co-innovation, gouvernance et coordination des acteurs

L'atteinte des objectifs d'Écophyto ne dépend pas seulement de leviers techniques ; elle est largement dépendante de facteurs macro- et microéconomiques, de la mobilisation et de la formation des agriculteurs et de leurs conseillers, de l'engagement et de la coordination des réseaux d'acteurs qui entourent les agriculteurs tant dans les filières économiques qu'au niveau des territoires, des modes de gouvernance qui favorisent ou non cette coordination. Il importe donc



d'étudier les modes de fonctionnement et d'interrelations entre acteurs du système sociotechnique qui se sont mis en place autour d'une logique de protection essentiellement chimique, et d'analyser les modalités et les conditions favorisantes des transitions vers une agriculture économe en pesticides et à moindre impact environnemental. Différents niveaux d'approche peuvent être distingués, correspondant aussi à différents objets de recherche complémentaires : l'agriculteur inscrit dans une trajectoire de changement des pratiques ; les dynamiques de co-innovation et le rôle des réseaux ; le fonctionnement et les possibilités d'évolution du système sociotechnique ; enfin l'échelle territoriale.

1 L'agriculteur inscrit dans une trajectoire de changement des pratiques

Il existe une diversité de sensibilités et de comportements des agriculteurs face à la transition vers des systèmes plus économes en pesticides. Les éléments qui différencient les agriculteurs, influent sur leurs modes de décision et sur l'intensité de leur engagement dans les changements de pratiques, méritent d'être étudiés : l'importance accordée individuellement par chacun aux enjeux de protection de l'environnement et de la santé, sa conception de l'excellence professionnelle, sa perception du risque associé à la réduction des pesticides, son anticipation des marchés, des prix, des réglementations, des politiques, et bien sûr son appréciation des contraintes (et leviers) liés à sa structure d'exploitation, à l'organisation du travail ou aux débouchés. Ces éléments ne sont évidemment pas statiques et c'est aussi leur évolution qu'il faut analyser.

Divers travaux de recherche, souvent à l'interface entre sociologie et agronomie, s'intéressent aux changements de pratiques techniques et les abordent au travers de l'analyse des trajectoires d'agriculteurs. Ils mettent en parallèle les différentes dimensions de ces dernières : changements structurels dans l'exploitation (surfaces, production, équipement, travail, etc.), choix techniques et adoption éventuelle de pratiques nouvelles, débouchés commerciaux, insertion dans divers types de réseaux d'apprentissage et sociaux. La caractérisation des étapes de changement et l'analyse des facteurs facilitateurs de ces changements restent des sujets prioritaires, tout comme l'analyse des types de facteurs influant sur l'évolution des conceptions, les motivations et les freins des agriculteurs quant aux pratiques économes en intrants. Il y a en effet des facteurs « objectifs » individuels (âge, niveau de formation, expérience,...), des facteurs « contextuels » propres aux filières ou aux territoires concernés (contexte économique, zones de protection,...) des facteurs

biographiques ou « événementiels » individuels (par exemple, liens intergénérationnels dans les situations de reprise de l'exploitation familiale, souci de santé associé par l'agriculteur à l'usage de certains produits, autres pratiques – alimentaires, de nature etc. - influant la sensibilité aux questions environnementales), des **facteurs « relationnels »** (proximité d'agriculteurs ayant de telles pratiques, insertion dans certains types de réseaux y compris non agricoles, ...). Comment ces divers facteurs se combinent-ils ou se compensent-ils, comment **influencent-ils sur les modes de décision** des agriculteurs et leurs **trajectoires de changements de pratiques** ? Comment peut-on caractériser la **robustesse des motivations et des changements de pratiques dans le temps**, c'est-à-dire leur capacité à résister à des perturbations externes (aléas climatiques, prix, etc.) ?

A noter que **des questions du même ordre méritent d'être explorées au sujet des conseillers des agriculteurs**, en lien avec les stratégies des diverses catégories d'entreprises auxquelles ils appartiennent. Ce point est abordé dans le chapitre VI.

Le rôle du **Bulletin de Santé du Végétal (BSV)** dans les pratiques et changements de pratiques des agriculteurs (cf chapitre I) devrait faire l'objet **d'investigations spécifiques**. Comment les agriculteurs prennent-ils leurs décisions en fonction des informations diffusées par le BSV ? Comment **d'autres acteurs** – collègues, conseillers, techniciens, acteurs de filières - interagissent-ils dans ces décisions ? Quels sont les enjeux, les stratégies, et les marges de manœuvre de ces différents acteurs en jeu ? Comment ces acteurs mobilisent-ils (déclinent-ils) le BSV dans leur communication vers les agriculteurs ? Quels impacts l'impératif actuel de non-prescription (par rapport au dispositif antérieur) a-t-il sur les changements de pratiques ?

2 Les dynamiques de co-innovation et le rôle des réseaux

Des travaux sociologiques récents montrent aussi l'importance de la **diversité des modalités d'apprentissage** et le rôle **de l'insertion des agriculteurs dans différents réseaux** professionnels ou non professionnels. De futurs travaux de recherche pourraient investiguer plus spécifiquement **les dynamiques de co-innovation** (ou de co-construction d'innovations) à l'œuvre dans divers types de réseaux ou de dispositifs. Il s'agit notamment de comprendre en quoi ces dynamiques de co-construction d'innovations, qui incluent un aspect de participation à la science, peuvent être un moyen d'accélérer et d'enrichir le partage des connaissances.

Comment des collectifs de co-innovation impliquant des chercheurs, agriculteurs, conseillers techniques (et éventuellement d'autres acteurs) favorisent-ils l'exploration de pratiques alternatives et leur adoption ? Que ces pratiques alternatives soient réellement co-construites dans ces collectifs ou proposées par la recherche-développement, comment peut-on **caractériser les différentes phases du processus d'appropriation** de ces innovations ? Quels enseignements tirer de la **diversité des modes de production et de circulation de connaissances** à l'œuvre en matière d'accompagnement à la réduction d'intrants ? Certains semblent-ils plus appropriés et selon quels critères ? Ces questions doivent bien sûr être abordées au sujet des changements de pratiques et des transitions vers l'agro-écologie globalement, et pourraient aussi être explorées sur des thématiques plus spécifiques comme la gestion durable des résistances variétales.

Le réseau DEPHY apparaît comme un terrain privilégié pour acquérir, à côté des références techniques et en lien avec elles, des **références sur les dynamiques sociales impliquées dans l'appropriation des innovations** et l'adhésion à des démarches collectives. De la même manière, les projets soumis à l'AAP CASDAR « Mobilisation collective pour l'agro-écologie » et ultérieurement les GIEE pourront eux aussi être des réseaux à analyser sous l'angle des dynamiques de co-innovation.

Au sein du réseau DEPHY et/ou des groupes participant à l'AAP CASDAR « Mobilisation collective pour l'agro-écologie » et/ou futurs GIEE, **quels sont les modes de production et de circulation de connaissances privilégiés ?** Comment est facilitée la possibilité pour les agriculteurs de s'identifier à des « références » proposées ? Comment caractériser les formes **d'intermédiation mises en œuvre par les conseillers et animateurs de ces groupes** ainsi que les savoir-faire associés ? Quel **bilan** en font les conseillers/animateurs et les agriculteurs ? Quelles **difficultés** éprouvent-ils ? Comment y **remédient-ils** et font-ils évoluer les dispositifs ?

Enfin, les **dispositifs de partage de connaissances en ligne** sont nombreux et utilisent une large gamme d'outils collaboratifs de travail à distance (wiki, forum, ...). Ils reposent sur une organisation et un mode de fonctionnement différents. Cette diversité se traduit-elle par des démarches et une efficacité différentes en matière de construction de l'innovation ? Comment ces dispositifs s'articulent-ils avec des démarches plus « directes » de partage des connaissances et de co-innovation, ou s'y substituent-ils éventuellement pour des agriculteurs peu impliqués dans des réseaux ?

3 Le fonctionnement du système sociotechnique et ses possibilités d'évolution

Divers travaux ont montré que les possibilités de réduction des intrants sont souvent limitées par des **effets de « verrouillage » dans le système agri-alimentaire**, c'est-à-dire le système sociotechnique englobant non seulement les filières de production, de transformation, de distribution, mais aussi la sélection variétale, la recherche, le conseil technique, les politiques publiques et les instances de régulation (des semences et de la qualité des produits notamment). Ainsi, dans le passé, la recherche (notamment en agronomie et en génétique) a plus souvent cherché à **s'adapter aux problèmes générés par l'intensification** des pratiques agricoles qu'à explorer d'autres voies possibles.

Des travaux de recherche tant rétrospectifs que comparatifs sur les systèmes de recherche et les voies qu'ils ont empruntées ou empruntent restent nécessaires, pour éclairer la réflexivité des chercheurs et de leurs institutions, mais aussi celles de l'ensemble des acteurs du système sociotechnique avec lesquels ils coopèrent. **Comment le système de recherche-développement s'est-il adapté aux inflexions des politiques publiques en matière de protection des cultures ? Comment les a-t-il éventuellement anticipées et devancées**, au fil des décennies et dans différents contextes nationaux ?

Le fonctionnement des filières, en particulier du fait des **normes de qualité** s'appliquant aux produits agricoles, qu'il s'agisse de produits frais ou destinés à être transformés, ainsi que de la difficulté des filières en place à valoriser des cultures plus diversifiées, insérées dans les rotations dans un objectif d'économie d'intrants, font partie des éléments qui déterminent fortement (et de fait limitent) les possibilités de changement de pratiques au niveau des agriculteurs. En particulier, les **possibilités des transformateurs sont encore insuffisamment explorées** en matière de valorisation de cultures ayant un intérêt dans la diversification des assolements à l'échelle de la filière⁵³. Par ailleurs, les produits obtenus avec une utilisation réduite des phytosanitaires ne parviennent pas à trouver un supplément de valorisation dans les filières et auprès des consommateurs, à la seule exception des produits issus de l'agriculture biologique qui font réellement l'objet d'une reconnaissance autorisant une valorisation.

Quelles peuvent être les **nouvelles voies de valorisation des produits issus de modes de production économes en intrants** ? Quelles **actions de coordination entre acteurs** seraient incitatives pour structurer de nouvelles filières et/ou voies de valorisation ? A quelles conditions celles-ci peuvent-

⁵³ Meynard J.M. et al. 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.

elles s'intégrer dans les stratégies des filières actuelles, compte-tenu de leurs contraintes – entre autres liées pour certaines à leur dimension internationale – et marges de manœuvre ? **Qu'enseignent à ce titre les alternatives existantes** telles que les systèmes de proximité ? Quels modes de coordination peuvent apparaître plus favorables à des évolutions de pratiques ?

Quels sont les positionnements des consommateurs quant à ces questions et de quoi dépendent de possibles transformations dans les perceptions et les pratiques des consommateurs ? Comment signaler aux consommateurs des changements de pratiques qui ne relèvent pas de référentiels bien identifiés comme l'AB ? Comment, en particulier, le programme Écophyto influe-t-il éventuellement l'argumentaire développé par des agriculteurs en vente directe (pour les produits concernés), et les attentes des consommateurs associées aux questions sanitaires ? Il pourrait être utile d'explorer ces questions plus particulièrement à partir de cas d'agriculteurs impliqués dans des démarches de réduction d'intrants comme les groupes DEPHY. De même, comment des coopératives, engagées dans DEPHY ou dans des MAE, voire d'autres actions de réduction de l'usage des pesticides communiquent et valorisent-elles cet engagement ?

En matière de formation et de réglementation, dans le cadre du Plan, la mise en place du dispositif **Certiphyto** représente, par son ampleur et la diversité des acteurs concernés, une **opportunité unique de conduire des études de sociologie** et de didactique sur le moyen/long terme et d'aboutir à d'éventuelles **améliorations des contenus et de la mise en œuvre des formations**. En effet, tous les professionnels impliqués dans la préconisation, la vente, l'achat et l'application de produits phytopharmaceutiques, soit environ 800 000 personnes, sont concernés. Les questions de recherche relèvent de la sociologie de l'innovation, de la sociologie des organisations et de la didactique : **que change Certiphyto** dans le mode de pilotage des exploitations ou dans la pratique professionnelle pour les autres professionnels concernés ? Par exemple, est-ce que la certification des agriculteurs s'accompagne du **développement de pratiques innovantes** en rupture ou de pratiques ajustées dans le sens d'une protection chimique plus parcimonieuse ? **Comment sont appropriés et mis en œuvre les divers éléments de la certification** ? Il peut s'agir d'établir une **typologie des modalités d'appropriation** de cette nouvelle réglementation (par exemple, démarche proactive ou au contraire imposée, conformité avec les pratiques antérieures, etc.). Comment évoluent au fil du temps et en parallèle de la démarche Certiphyto les **perceptions et conceptions associées à la lutte contre les bioagresseurs** (dont l'utilisation des produits phytopharmaceutiques), chez les différents types de professionnels concernés (y compris professionnels de la vente de produits bien entendu) ?

La certification étant un processus récurrent, il serait intéressant que les travaux réalisés sur la première vague Certiphyto permettent d'identifier des **pistes pour l'évolution du dispositif** : par exemple en termes d'éventuelles **améliorations des contenus et de la mise en œuvre des formations**.

Quels enseignements pour la formation ? Une approche ergonomique de la prise de décision autant que de la mise en œuvre des traitements par les **agriculteurs** pourrait permettre d'identifier la place et le rôle des différents objets de connaissance mobilisés par « l'opérateur ».

De la même manière, une telle approche appliquée aux **conseillers** permettrait d'identifier les synergies et les disparités dans la mise en œuvre des deux métiers. Une approche didactique aurait l'avantage de traduire les résultats dans des contenus et les méthodes de formation pour les deux catégories professionnelles, tant en matière de formation initiale que de formation professionnelle.

Comme la certification figure parmi les mesures préconisées par la Directive européenne, des programmes équivalents à Certiphyto sont en cours ou prévus dans les autres pays de l'UE.

L'extension de l'analyse à d'autres pays (en tenant bien sûr compte des spécificités des contextes réglementaires nationaux antérieurs) permettrait d'identifier des pistes complémentaires pour l'évolution du dispositif.

4 L'échelle territoriale

La protection des cultures ne devra plus se raisonner uniquement à l'échelle des jardins, des parcelles, voire des exploitations, mais aussi à l'échelle du bassin versant ou du paysage. Les processus d'innovation s'inscrivent ainsi au sein de territoires aux limites évolutives vues la diversité des parties prenantes en présence et les interconnexions de leurs domaines d'action (diversité des domaines de compétence, de la nature et des échelles des actions, etc.). **C'est au niveau territorial que s'organisent des réseaux de relations sociotechniques et socioéconomiques**, y compris avec des acteurs hors du monde agricole, et c'est un niveau de gouvernance majeur dans la mise en oeuvre des actions de politique publiques et des stratégies de filières. Les questions du déploiement spatial des résistances variétales, de la préservation de la biodiversité ou de la gestion des pollutions diffuses, peuvent représenter des cas d'étude exemplaires en matière de coordination territoriale.

Certains types de dynamiques territoriales spécifiques favorisent-ils des évolutions de pratiques ?

Quels acteurs engagent-elles alors, autour de quels objectifs et de quels types de dispositifs ? En particulier, l'appartenance d'un agriculteur à un collectif de co-innovation (cf. thème 2) modifie-t-elle les possibles **interactions avec les consommateurs et habitants de son territoire** ? Comment peut-on **caractériser la dynamique spatiale de la diffusion de systèmes innovants** ? Observe-t-on des effets de seuil ? Quels types de dynamiques territoriales sont plus particulièrement mis en oeuvre autour des questions de gestion durable des résistances variétales ? Quel est l'effet de la diversité d'interprétations du BSV proposées par les différents acteurs au niveau d'un même territoire ?

5 Les problématiques non agricoles

Enfin, **les problématiques non agricoles** sont également à prendre en compte (jardiniers amateurs, collectivités, infrastructures de transport,...), ainsi que leurs **interactions avec les problématiques agricoles** dans la perspective de l'évolution des pratiques liées à l'application de produits phytosanitaires. Concernant les ZNA⁵⁴, il apparaît un grand besoin d'état des lieux sur la réalité des pratiques et leurs déterminants.

Comment caractériser la diversité des situations observables en matière de ZNA⁵⁴ et d'évolution de l'usage des pesticides dans ces zones ? Quels sont les facteurs déterminant les pratiques et facilitant ou freinant les dynamiques de changements de pratiques ? Une retombée possible sera d'adapter les messages pour les acteurs de ces ZNA⁵⁴.

6 Les processus de transitions et modes de gouvernance

Outre la construction d'analyses spécifiques relevant d'une ou plusieurs des thématiques ci-dessus, la **constitution d'une méthodologie permettant de généraliser une démarche de type systémique et intégrée pour appréhender les processus de transitions et modes de gouvernance** pourrait faire l'objet d'attendus spécifiques. Quels enseignements génériques peut-on tirer d'un état des lieux raisonné des travaux de recherche en sciences sociales traitant des changements de pratiques agricoles aux différentes échelles abordées ici (exploitation, réseau d'innovation, système sociotechnique, territoire) ? Permettent-ils d'asseoir les bases d'une démarche méthodologique systémique et intégrée ?

⁵⁴ Les ZNA sont désormais nommées JEVI (jardins, espaces végétalisés et infrastructures)

Chapitre VI - Les dispositifs incitatifs de politique publique et leur mobilisation pour inciter les agriculteurs à réduire leur utilisation de pesticides

La décision des agriculteurs de réduire leur utilisation de pesticides est influencée par un ensemble de facteurs qui interviennent sur les choix de productions et de techniques de production. L'efficacité des politiques et plans d'action spécifiquement dédiés à encourager la réduction de pesticides, dont le plan Écophyto, dépend ainsi à la fois des caractéristiques intrinsèques des incitations⁵⁵ qui peuvent être mises en place en appui au plan et de leur interaction avec les



conditions des marchés et avec les autres politiques qui interviennent également dans le choix des agriculteurs.

Il est donc important d'éclairer l'effet de l'ensemble de ces facteurs socio-économiques et politiques sur l'utilisation des pesticides afin de mesurer les chances de réussite d'une politique destinée à en encourager la réduction. Concernant spécifiquement les politiques publiques visant à la réduction des pesticides,

des travaux de recherche méritent d'être menés pour étudier et élaborer des dispositifs innovants susceptibles d'entraîner des changements significatifs.

Aussi, la Recherche est-elle sollicitée à la fois pour comprendre les effets des politiques publiques actuelles, aider à la construction de dispositifs dans les perspectives d'évolution à court terme de ces politiques, pour évaluer les différents dispositifs de politiques publiques et pour réfléchir à plus long terme aux évolutions souhaitées, aussi bien au niveau des politiques spécifiques qu'à celui des dispositifs nationaux et européens (PAC après 2020). Ces recherches, principalement en sciences économiques et sociales, appellent au développement de collaborations entre celles-ci et les sciences agronomiques et biotechniques.

1 Les articulations entre les politiques publiques d'incitation à la réduction de l'usage des pesticides et les autres politiques

Les signaux incitatifs des politiques publiques ciblées sur la réduction de l'usage des pesticides ne sont pas les seuls, ni forcément ceux que l'agriculteur prend le plus en compte. Par exemple, le rôle du premier pilier de la PAC et des politiques de soutien aux biocarburants est largement aussi important dans les déterminants des utilisations des pesticides. Les règles de conditionnalité du premier pilier de la PAC ou celles qui s'appliquent aux critères de durabilité des biocarburants prennent peu en compte la question de l'usage des pesticides. L'effet de ces différentes politiques et leur cohérence avec le plan Écophyto doivent donc être analysés. L'articulation des politiques régionales et territoriales avec les politiques nationales et européennes est également à considérer,

⁵⁵ Par incitation, il est entendu à la fois les dispositifs incitatifs volontaires (types MAE ou autre soutiens publics, PVE, etc..) mais aussi les instruments incitatifs plus contraignants (réglementation d'usage, taxe ou redevance, etc.)

de même que l'effet des politiques de Recherche et R&D. Enfin, il y a lieu d'analyser le rôle des marchés vs celui des politiques dans les décisions d'usage des pesticides.

Les effets des différents volets, réglementaires et incitatifs, des politiques publiques actuelles ainsi que de celles qui pourraient être mises en place pour renforcer le plan Écophyto sont insuffisamment connus. Sont concernés les dispositifs de taxation, d'homologation des produits phytosanitaires et de soutien au changement de pratiques. La taxation doit être étudiée à la fois dans son volet incitatif (niveau de la taxe et modalités d'application) et fiscal (affectation du produit de la taxe). Une des alternatives à la taxation pourrait être la mise en place d'un dispositif de marché de certificats d'économie des produits phytosanitaires. Sur le modèle des certificats d'économie d'énergie (CEE), cet outil pourrait constituer un outil économique de valorisation des efforts des agriculteurs. Des travaux de recherche sont à conduire pour en définir les modalités, travaux qui gagneraient à être réalisés dans le cadre d'une expérimentation légalement encadrée sur un territoire donné permettant d'affiner les niveaux des paramètres et d'étudier les conditions de viabilité d'un tel dispositif.

Les modifications dans les pratiques entraînées par l'évolution des politiques d'homologation des produits et d'autorisation de mise en marché (AMM) sont mal connues et méritent d'être éclairées. Dans cette catégorie rentrent également en ligne de compte, les politiques instaurant des conditionnalités à la délivrance du produit (conseils de sécurité, ordonnance d'un spécialiste).

Les politiques menées en aval de la production, auprès des entreprises de transformation agro-alimentaires ainsi que sur les comportements des consommateurs (plan bio, consommation de fruits et légumes, ...) peuvent avoir une influence significative sur les systèmes de production. Toutefois, si l'on excepte les produits issus de l'agriculture biologique, les consommateurs sont encore peu réceptifs à des indications mentionnant un moindre niveau d'utilisation de pesticides dans la production. D'autres dimensions de qualification de la production peuvent être étudiées. Les phénomènes de construction de la confiance au sujet de l'utilisation des pesticides dans les circuits de commercialisation peuvent venir éclairer cette question.

La santé au travail des opérateurs est une question de santé publique prioritaire dans le plan Écophyto (Cf. Chapitre VIII). Un axe lui est spécifiquement dédié. En relation avec les travaux menés dans cet axe, un certain nombre de questions sont à approfondir : Quels ont été les impacts des politiques de prévention à destination des utilisateurs de produits phytosanitaires menées jusqu'ici ? Quels liens font ces derniers entre leur santé, les usages qu'ils font des pesticides et les orientations globales de leurs systèmes de production ?

Enfin, il y aurait lieu d'étudier l'impact des politiques à destination des acteurs des Zones Non Agricoles. Des travaux sur les évolutions des pratiques en Zones Non Agricoles et les relations de celles-ci avec l'agriculture environnante sont nécessaires.

2 La construction de contrats agro-environnementaux innovants.

Les Mesures Agro-Environnementales Territorialisées (MAET), mises en place dans le Programme de Développement Rural Hexagonal (déclinaison du second pilier de la PAC) constituent actuellement un des seuls leviers économiques dont disposent les acteurs locaux pour encourager les agriculteurs à réduire l'usage des pesticides. Elles sont actuellement très peu souscrites. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ce faible taux d'adoption des MAET: des raisons économiques (insuffisance de la rémunération), techniques (cahier des charges mal adapté), ou psychologiques (perception du

caractère risqué du changement de pratique, peur de l'engagement sur plusieurs années, sentiment de déresponsabilisation). Le mode de construction des cahiers des charges, sur la base d'une combinaison d'engagements unitaires peut également engendrer une insuffisante prise en compte des contraintes des exploitants. Il y a lieu d'analyser les réticences et motivations actuelles des agriculteurs qui adoptent des MAET dans la perspective de contribuer à l'amélioration du dispositif.

La territorialisation des politiques visant la réduction de l'usage des pesticides est un élément central de la politique actuelle, en particulier du fait des réglementations spécifiques aux aires d'alimentation de captage d'eau potable. Il est ainsi nécessaire de mieux comprendre les dynamiques collectives impliquant différents types d'acteurs (chambres d'agriculture, agences de l'eau, collectivités locales, firmes et organismes de conseil, entreprises agroalimentaires d'amont et d'aval, ...) et les conditions de la mise en œuvre de programmes suffisamment ambitieux de réduction de l'usage des pesticides.

Au-delà de cette analyse de la situation actuelle, des travaux doivent être menés également afin de proposer des dispositifs agro-environnementaux innovants permettant d'aller plus loin dans l'incitation à une modification des pratiques. Il serait notamment pertinent d'imaginer et tester des dispositifs de MAE permettant (i) le changement global de système (outil d'accompagnement des transitions) ; (ii) l'introduction de dimensions collectives dans les contrats (à la fois par rapport à un objectif d'efficacité vis-à-vis de la qualité de l'eau et également en analysant les effets d'entraînement et la mise en œuvre de dynamique collectives) ; (iii) une allocation optimale des fonds publics (allocation des contrats par appel à projets, analyse coût-bénéfice environnemental, ...) ; et (iv) de nouvelles modalités de « rémunération » des changements de pratiques (basée sur une remise en cause du caractère forfaitaire de la subvention à l'hectare) pour aller vers un soutien financier individualisé de l'effort environnemental. Sont à étudier, par exemple, des méthodes d'évaluation « comptable » standardisée de dépenses environnementales pouvant être transférées à des centres de gestion agréés dans un processus de certification environnementale de compte individuel. Sur le même principe, les travaux pourraient s'attacher à proposer et tester une méthode de rémunération basée sur l'effort individuel réalisé de gain de performance environnementale (point d'IFT, potentiel de transfert par exemple). Les modalités institutionnelles de faisabilité de tels dispositifs aujourd'hui non reconnus par la réglementation ainsi que la recevabilité par les professionnels (agriculteurs et structures de conseils et gestion) devront également être questionnées. Sur ces différents points, des travaux théoriques et d'économie expérimentale ainsi que des études de cas d'initiatives innovantes pourraient être menés.

L'impact de la régionalisation des aides européennes, et en particulier du rôle accru des conseils régionaux, devra être envisagé dans l'analyse des dynamiques territoriales. Le dispositif PEI (Partenariat Européen d'Innovation) et ses outils (groupe opérationnel, réseau thématique de groupes opérationnels) pourraient également faire l'objet de travaux : impact sur les dispositifs et dynamiques existants, synergies potentielles avec les MAE, dynamiques territoriales et cohérence nationale, impact sur la gouvernance territoriale et le poids de chaque acteur territorial etc., sachant que le cadre de la régionalisation des aides est en cours de définition et que les dispositifs ne sont pas encore en place. Il s'agit cependant d'un outil potentiellement intéressant.

3 Le conseil et l'accompagnement de la transition.

La réduction de l'usage des pesticides se heurte à la difficulté pour les agriculteurs d'adopter des techniques plus économes du fait d'un ensemble de freins qui sont liés à l'organisation de l'ensemble des acteurs économiques en amont (sélection variétale, agrofourniture) et en aval (collecte,

transformation, distribution) de la production agricole, ainsi que des acteurs en charge du conseil et de l'accompagnement technique.

Dans ce système, les organismes de conseil, tant publics que privés, jouent un rôle majeur dans l'accompagnement de la transition des agriculteurs vers des systèmes de production permettant de réduire l'usage des pesticides. Mais cette organisation du système sociotechnique autour des modèles de production actuels rend particulièrement difficile pour les organismes de conseil, la mise en place de dispositifs et de pratiques pour accompagner les agriculteurs vers des techniques plus économes en pesticides. Il est donc nécessaire d'analyser les modalités par lesquelles les politiques publiques peuvent encourager à un changement dans ces dispositifs et pratiques. Dans cette analyse il importe de distinguer les types de conseil, correspondant aux différents types de décision (de la plus instantanée à la plus stratégique) et d'analyser le rôle actuel des différents types d'agents, dont notamment les organismes de conseil avec délégation de service public (Chambres d'agriculture) mais aussi les organismes privés et les prestataires indépendants et/ou associatifs. L'analyse de leurs pratiques dans différentes situations doit conduire à imaginer une évolution des pratiques et des cadres réglementaires. Les questions portent sur l'évolution du métier de conseiller, les références et concepts mobilisés, les changements dans les cadres sociaux et politiques d'exercice du métier ou bien encore sur l'impact des politiques sur les différents types de conseil.

Les organismes économiques, en particulier les coopératives agricoles, peuvent avoir un rôle spécifique à jouer, pour ces dernières du fait de leur nature économique, sociale et solidaire. Du fait de leur implication dans les filières de commercialisation des produits, elles peuvent agir dans la construction de niches commerciales permettant de valoriser les efforts des agriculteurs innovants. Les évolutions actuelles des dispositifs de conseil des coopératives et les nouvelles pratiques qu'elles mettent en œuvre (certification environnementale, notation développement durable, voire responsabilité sociétale de filières ou individuelle) sont à analyser dans la perspective de contribuer aux objectifs de l'action publique.

Les débats sur l'intérêt d'une privatisation du conseil reflètent l'importance de développer un conseil plus ciblé sur la demande des agriculteurs et permettant d'augmenter le nombre d'agriculteurs ayant recours au conseil, l'enjeu étant alors de faire en sorte que soient pris en compte les objectifs environnementaux dans ce conseil. Il y a lieu d'imaginer des dispositifs permettant de renforcer la demande de conseil des agriculteurs dans une perspective de changement de systèmes.

Le risque lié à l'adoption de pratiques permettant de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires constitue un frein important à la réduction de l'usage des pesticides. Ce risque est lié aux résultats de ces nouvelles pratiques qui peuvent être plus variables que ceux des conduites habituelles et/ou être perçus comme tels par les agriculteurs. On sait notamment que les agriculteurs sont particulièrement sensibles aux risques d'événements négatifs extrêmes. Il apparaît de plus en plus important à l'heure actuelle de considérer les modalités d'actions collectives par lesquelles ces risques peuvent être diminués et mieux gérés. Les conditions de fonctionnement et de viabilité de dispositifs de mutualisation du risque ou d'assurances récoltes qui permettraient d'accompagner les initiatives collectives d'adoption de techniques économes en pesticides sont à étudier, sur la base de démarches expérimentales.

Les démarches d'accompagnement vers la réduction des pesticides nécessitent dans bien des cas d'être entreprises à l'échelle d'un territoire à la fois pour des raisons d'efficacité environnementale et pour bénéficier des effets d'entraînement d'une démarche collective. Des travaux sont nécessaires pour étudier les conditions de mise en œuvre de ces démarches collectives. Il conviendrait en

particulier d'étudier les nouvelles démarches collectives territoriales proposées dans les groupements d'intérêt économique et écologique (GIEE). Il pourra s'agir notamment d'analyser quels sont les déterminants ou conditions optimales de réussite des projets portés par ces nouvelles formes de gouvernance, quels en sont les contenus, les publics cibles et formes d'action, et quels sont les leviers innovants qu'il conviendrait de proposer/généraliser dans les dispositifs d'action publique afin d'enclencher une véritable dynamique.

Les associations professionnelles jouent un rôle important en agriculture. L'ensemble des ONVAR « Organismes à vocation agricole et rurale » regroupe les agriculteurs autour de thématiques professionnelles et selon des sensibilités différentes ; ils se caractérisent par l'importance accordée au travail de groupe et à la mise en réseau des agriculteurs, au service d'une dynamique innovante. Comparées aux opérateurs du conseil cités précédemment, ces associations sont de petite taille. Elles dépendent de manière significative des soutiens de l'Etat et peinent à se développer. Il importe d'anticiper les effets des politiques de soutien et les modalités de leur attribution sur la pérennité et le développement de ces organismes.

4 Evaluation et expérimentations de politiques publiques

L'action publique agro-environnementale liée à la réduction des pollutions diffuses se transforme : on assiste à la fois à un déplacement (ou recentrage) du champ d'intervention de l'État avec l'acte III de la décentralisation (vers des fonctions de pilotage et de contrôle) mais aussi à une action publique de plus en plus co-construite par différents acteurs publics et privés (État, Collectivités, Agences de l'eau, syndicat intercommunaux, coopératives, etc.). Les programmes publics proposés se « complexifient » dans leur processus d'action : ils intègrent une dimension territoriale de plus en plus marquée et mobilisent des instruments de plus en plus diversifiés (tarification, soutien zoné, soutien à l'action collective, règles techniques, etc.). En parallèle, la PAC 2014-2020 instaure un nouveau principe de performance des crédits européens (avec la mise en œuvre d'une réserve de performance de 7 % du FEADER) conditionnée à l'atteinte d'objectifs environnementaux énoncés dans les programmes d'action publique du FEADER. Le renforcement de cette conditionnalité implique pour l'ensemble des acteurs publics de disposer de méthodes d'évaluation pour justifier de l'efficacité des différents dispositifs d'action publique agro-environnementale mis en œuvre. Pour répondre à cet enjeu d'évaluation de l'action publique, les travaux proposés s'attacheront à développer différents types d'approches utiles au régulateur dans une perspective d'évaluation *ex post* et *ex ante*.

En effet si, au plan théorique, les démarches méthodologiques de comparaison de politiques ou de leurs instruments existent, il reste de nombreuses zones d'ombre sur l'efficacité réelle des différents dispositifs par manque d'études de cas. Dans cette perspective, des travaux seraient nécessaires pour concevoir des méthodes opérationnelles d'évaluation intégrée de l'efficacité économique et environnementale des politiques.

L'expérimentation de dispositifs de politiques publiques en situation réelle est une dimension méthodologique à développer. Des travaux d'expérimentation de dispositifs innovants en conditions réelles devraient être conduits sur des territoires tests, en s'appuyant sur certaines possibilités légales et financières de mise en place d'expérimentation.

Chapitre VII – Des usages aux impacts : les indicateurs

1 Rappel du cadre général et de l'état des lieux vis-à-vis du plan Écophyto

La mise en œuvre des politiques agro-environnementales nécessite de disposer d'une panoplie d'indicateurs permettant d'effectuer un diagnostic de la situation, de suivre l'effet des mesures mises en place et de réorienter éventuellement les plans d'action, et enfin de communiquer auprès des porteurs d'enjeux. Les besoins dans ce domaine se déclinent à différentes échelles spatiales (de la parcelle au territoire national) et temporelles (du traitement à l'année, voire au-delà).



La définition et le choix des indicateurs s'effectuent sur différents critères théoriques dont la nature varie selon que le point de vue adopté est celui des scientifiques ou des gestionnaires, tandis que leur évaluation et leur sélection en vue d'un usage pratique reposent en général sur des critères pragmatiques qui ont trait à leur représentativité, à leur opérationnalité et à leur utilité pour l'aide à la décision.

En appui au plan Écophyto, il y a un **besoin d'indicateurs environnementaux**, afin de caractériser les évolutions induites par sa mise en œuvre. Au-delà de l'identification d'indicateurs, il s'agit aussi d'accompagner leur mise en œuvre pratique, notamment *via* l'interprétation des résultats. Les travaux sur les indicateurs concernent aussi par certains aspects (analyse des réseaux de causalité par exemple) la caractérisation des pratiques associées aux solutions intégrées de protection des cultures (voir Chapitre II), que ce soit *ex ante* ou *ex post*. L'intégration des indicateurs dans des outils d'évaluation de la durabilité des pratiques constitue à ce titre un enjeu important. Cette problématique est abordée par exemple dans le projet DEXIFruits soutenu par le plan Écophyto suite à l'APR PSPE1 et qui vise au développement d'un outil d'évaluation de la durabilité de systèmes de production commun aux différentes filières arboricoles et au service des acteurs des réseaux.

A côté de la poursuite des réflexions sur les indicateurs mobilisables, de nouvelles interrogations ont émergé, qui sont transversales à l'ensemble des compartiments considérés dans les travaux de l'axe 1 et qui concernent les démarches à mettre en œuvre pour interpréter les résultats fournis par les indicateurs, la capacité des indicateurs proposés à mettre en évidence des évolutions (= sensibilité), la communication des résultats, ou bien encore la gestion des contradictions éventuelles entre indicateurs (par exemple pas d'évolution des indicateurs d'impacts alors que les indicateurs de risque diminuent).

Le développement d'approches spatialisées (par exemple *via* le couplage d'indicateurs de risque avec un Système d'Information Géographique – SIG) peut permettre l'identification de sites particulièrement exposés au « risque pesticides », où des mesures de réduction des risques devraient être implémentées en priorité. Par ailleurs, certains indicateurs peuvent potentiellement mettre en évidence les voies de transfert majoritaires pour certaines substances, permettant la mise en œuvre de mesures adaptées de réduction des risques de transfert.

Par ailleurs, en dépit d'incitations diverses, peu de progrès ont été réalisés sur la problématique de la mise en relation des pratiques de protection des cultures et les réponses d'indicateurs de risque ou d'impact. Or, la mise en relation des évolutions de ces indicateurs avec les pratiques demeure indispensable si l'objectif est d'identifier les contextes/pratiques à risque ou au contraire vertueuses.

Le programme "Pesticides" du ministère de l'écologie, l'ANR et les APR PSPE constituent les lieux privilégiés pour susciter les projets de recherche correspondants.

2 Identification et priorisation des besoins de recherche

La Figure 1 présente la démarche générale qui sous-tend la problématique des indicateurs dans le cadre de l'appui au plan Écophyto, en identifiant les étapes pour lesquelles des questions sont adressées à la recherche.

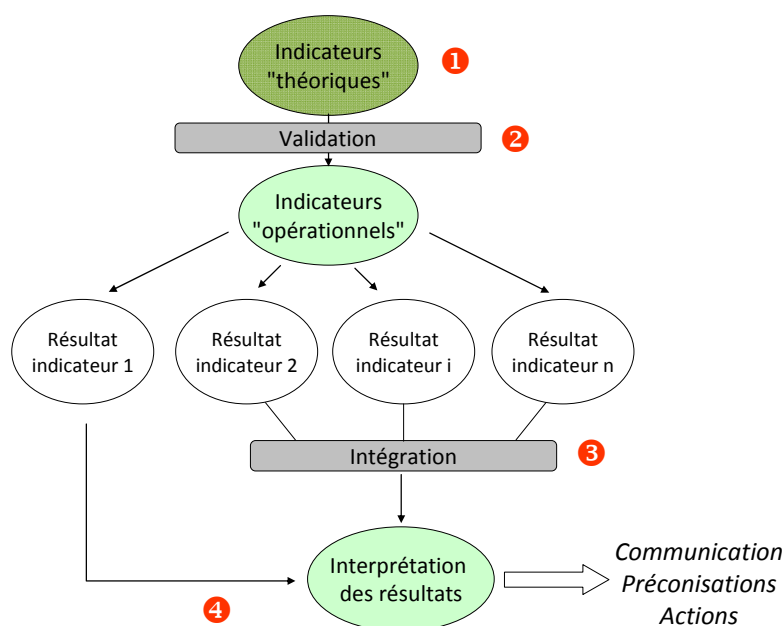


Figure 1. Cadre conceptuel décrivant l'enchaînement des étapes conduisant de la proposition d'un indicateur à son utilisation. Les chiffres correspondent aux points critiques identifiés comme nécessitant des actions de recherches spécifiques : 1. Identification de nouveaux indicateurs ; 2. Validation ; 3. Intégration des réponses d'indicateurs multiples ; 4. Etablissement d'un référentiel d'interprétation.

L'objectif prioritaire de l'axe 1 n'était pas de développer de nouveaux indicateurs mais d'identifier parmi les indicateurs existants ceux qui étaient susceptibles d'être mis en œuvre de manière opérationnelle pour le suivi du plan. Ce n'est qu'en cas d'absence de tels indicateurs que de nouveaux outils ont été développés.

A l'échelle nationale, deux familles d'indicateurs sont mobilisées en appui au plan, des **indicateurs de risque** d'une part (calculés sur la base des propriétés environnementales et (éco)toxiques des substances, et de leurs usages) et des **indicateurs d'impact** d'autre part (calculés à partir de mesures ou d'observations réalisées dans l'environnement). Les premières estimations quantitatives de ces indicateurs et de leur évolution depuis 2008 sont d'ores et déjà disponibles.

Deux grands domaines complémentaires ont été identifiés pour de futurs travaux :

- Aborder, *via* des projets de recherche, les différents verrous concernant la nature des liens entre les différents constituants de la chaîne ou du réseau de causalité des impacts : forme (linéaire vs. non linéaire, existence de seuils ou de points de basculement, etc.), cinétique (temps de réponse des processus à différentes échelles), variabilité spatio-temporelle, nature des incertitudes, etc. A cela, il faut ajouter la proposition de méthodologies pour appuyer les démarches de validation et de comparaison de valeurs de nature ou d'origine différentes : sorties d'indicateurs de risque, valeurs d'état, sortie de modèles et indicateur d'état (par exemple indice biologique). Les approches à mettre en œuvre sont clairement pluridisciplinaires. Soutenus suite à l'APR PSPE1, les projets EQUIPE et Perform abordent certaines de ces questions, EQUIPE *via* la comparaison des sorties de divers indicateurs avec des données d'analyses de résidus de pesticides dans l'eau, Perform au travers de la mise en œuvre d'approches de modélisation pour l'évaluation et la comparaison des performances environnementales de systèmes de culture innovants, avec une prise en compte explicite des incertitudes.
- Favoriser l'appropriation des indicateurs par leurs utilisateurs. Il s'agit notamment de favoriser la prise de conscience quant à la complexité des processus et à la nécessaire prise en compte des incertitudes de toutes sortes.

De manière concrète, et en lien avec la démarche présentée dans la Figure 1, des projets de recherche sont nécessaires dans quatre grands domaines.

a. Compléter le jeu d'indicateurs

Les travaux du groupe indicateurs de l'axe 1 du plan Écophyto ont permis de progresser dans la sélection d'indicateurs de risque et d'impact pour différents "compartiments" de l'environnement (eau, biodiversité, sols, alimentation), avec une résolution spatiale qui est celle du territoire national et un pas de temps annuel. La recherche est questionnée pour :

- Adapter les indicateurs retenus (ou en proposer de nouveaux) pour une utilisation à des échelles spatiale et/ou temporelles plus réduites.
- Développer et tester des indicateurs pour évaluer les impacts sur la biodiversité fonctionnelle et les services écosystémiques, en cohérence avec les démarches d'intensification écologique de l'agriculture et d'agroécologie. Le projet IndRegArb, soutenu suite à l'APR PSPE1 et qui aborde la question du développement d'indicateurs biologiques d'impacts liés à la régulation naturelle des ravageurs en arboriculture fruitière, s'inscrit dans cette problématique.

b. Valider les indicateurs

Pour être validé, un indicateur doit réellement refléter l'état du système sur lequel il est appliqué, en réduisant l'impact des incertitudes et des facteurs de confusion. Des travaux de validation ont été réalisés ou sont en cours pour certains indicateurs, notamment ceux concernant les eaux de surface (par exemple le projet EQUIPE, financé suite à l'APR PSPE1), mais il y a encore un travail important à réaliser, comme par exemple :

- Développer les démarches et méthodologies nécessaires pour contribuer à un processus de validation des indicateurs prenant en compte les différentes dimensions et informations sur la chaîne causale des impacts.
- Identifier et vérifier les échelles spatio-temporelles de validité des indicateurs proposés.

- Caractériser la sensibilité des indicateurs actuellement retenus pour le suivi du plan (notamment vis-à-vis des changements d'usages).
- Identifier les facteurs de confusion susceptibles de conduire à une interprétation erronée des résultats.
- Explorer la nature des liens entre les différents constituants de la chaîne ou du réseau causal des impacts (forme, cinétique, variabilité spatio-temporelle, nature des incertitudes, ...).

c. Intégrer les réponses des indicateurs

Il est important de favoriser l'appropriation de ces outils non seulement en communiquant sur leur nature et sur leurs caractéristiques, mais aussi en consolidant le cadre conceptuel et le domaine de validité qui permettent de les utiliser pour renseigner le lien entre usages et risques ou impacts. Les jeux d'indicateurs doivent permettre d'établir ce lien en assurant les changements d'échelle spatio-temporelle nécessaires à différents niveaux de la chaîne de processus. Pour les établir, différentes approches sont possibles, en s'appuyant sur des représentations plus ou moins explicites, détaillées et quantifiées des processus. Les projets Perform, financé suite à l'APR PSPE1, et « Chaîne Pressions-Impacts », soutenu dans le cadre des actions de Recherche & Développement de l'Onema contribuent à cette dynamique. Des travaux de recherche sont toutefois encore nécessaires pour :

- Intégrer, d'un point de vue spatial et temporel, les réponses des indicateurs et prendre en compte les relations entre les différents compartiments de l'environnement pour permettre d'avoir une vision la plus complète possible des effets des modifications des pratiques.
- Evaluer et hiérarchiser les contributions des différents facteurs (caractéristiques agro-pédo-climatiques, pratiques agricoles, propriétés des substances, ...) à l'inertie des systèmes ou aux effets tampon.
- Caractériser les réponses des systèmes, en particulier en termes de temps de latence ou de constantes de temps pour pouvoir observer une réponse suite à une action donnée.
- Prendre en compte les hétérogénéités (milieu, climat, pratiques, ...) dans l'incertitude globale des indicateurs lors de l'intégration et de l'interprétation des réponses à différentes échelles.

d. Construire un référentiel d'interprétation des indicateurs

En dépit des progrès déjà réalisés, il est nécessaire d'approfondir la connaissance des caractéristiques des différents indicateurs retenus ou proposés (sensibilité aux données d'entrée par exemple) mais aussi de développer l'expertise des utilisateurs dans la mise en œuvre de ces outils et l'exploitation de leurs résultats.

Ceci implique la réalisation d'études spécifiques (analyses de sensibilité, croisement des sorties des indicateurs avec d'autres types de données relatives par exemple aux conditions climatiques ou aux campagnes culturelles, etc.) et la définition d'un référentiel d'interprétation qui suppose l'existence de références, d'où un besoin de travaux pour :

- Identifier les sites ou les cas représentatifs de référence et la stratégie à mettre en œuvre pour les caractériser (protocoles d'acquisition de références, segmentation du territoire, etc.).
- Etablir des règles pour l'interprétation des réponses d'indicateurs différents (risque, état, ...) pour les différents compartiments de l'environnement.
- Prendre en compte ou traiter les hétérogénéités de réponse et les valeurs extrêmes. Il s'agit par exemple de proposer des stratégies permettant de concilier l'utilisation de valeurs moyennes nécessaires pour suivre l'évolution du plan et de valeurs extrêmes (*hot spots*), à prendre en compte dans des mesures de gestion et de limitation des contaminations « ponctuelles ».

Chapitre VIII - Exposition aux pesticides agricoles et effets sur la santé humaine

La question des usages de pesticides ne peut être dissociée de celle des expositions des personnes qui les manipulent, qui entrent en contact avec des végétaux ou des surfaces traitées ou qui évoluent dans des milieux contenant ces substances, et au-delà, des éventuels risques sanitaires qui peuvent y



être associés. Synthétisées pour être toxiques vis-à-vis d'organismes vivants, les molécules pesticides présentent des dangers intrinsèques, et sont de ce fait soumises à des réglementations spécifiques, en particulier pour leur mise sur le marché. Ainsi, la réglementation concernant les produits phytopharmaceutiques intègre les notions de toxicité et d'exposition des populations humaines afin d'apprécier le risque de santé pour l'opérateur, pour le travailleur, pour les personnes évoluant ou résidant à proximité des zones traitées et pour le consommateur.

Il importe de distinguer les populations concernées par les expositions agricoles en fonction des circonstances qui les conduisent à être au contact des pesticides. Ces circonstances sont associées à la fois au niveau, à la fréquence, à la durée des expositions, et dans une certaine mesure à la nature des pesticides auxquels les individus peuvent être exposés. On peut ainsi catégoriser les principales populations exposées en plusieurs groupes :

- **Les personnes travaillant en agriculture**, qu'ils soient chefs d'exploitation ou salariés, permanents ou saisonniers, incluant la main d'œuvre familiale, dont l'exposition recouvre les tâches de traitement (préparation et chargement des bouillies, application sur les cultures, nettoyage du matériel de traitement, entretien et réparations de ce même matériel), les tâches impliquant une réentrée sur les parcelles traitées, mais aussi toute tâche sur l'exploitation susceptible d'entraîner une exposition par contact avec le matériel, les végétaux ou les différents milieux (bâtiments de l'exploitation, résidence sur la ferme, eau du puits...). De plus tout acteur amené à intervenir sur les exploitations agricoles dans le cadre de sa profession est également susceptible d'être exposé aux pesticides : cela inclut les techniciens, conseillers, vétérinaires, distributeurs de matériel,...
- **Les riverains et résidents des exploitations agricoles**, potentiellement exposés par diffusion aérienne des substances appliquées sur les cultures par voie aérienne, au cours des opérations de traitement, mais également à distance de celles-ci par remise en suspension de particules déposées sur les sols ou les végétaux traités.
- **Le consommateur** susceptible de connaître une exposition aux pesticides agricoles essentiellement par voie digestive par l'intermédiaire des résidus présents sur ou dans les aliments ou dans l'eau de boisson.

Par ailleurs, les expositions aux pesticides existent également dans d'autres circonstances professionnelles : (zones non agricoles, désinsectisation, traitement des charpentes et des bois, personnels des entreprises de fabrication ou de conditionnement, distributeurs), ainsi que pour la population générale (lutte contre les insectes, biocides utilisés dans le domicile pour le traitement des bois, le traitement des animaux domestiques (antiparasitaires externes), les usages médicaux (anti-poux), le traitement des jardins ornementaux, des vergers ou des potagers. La part respective des pesticides provenant de ces sources ou de la source agricole (résidence à proximité des zones traitées ou ingestion de résidus par l'alimentation) est *a priori* variable en fonction des individus et complexe à déterminer.

Malgré la réglementation, dont les exigences se sont accrues au cours des dernières décennies, la question du risque pour la santé des populations humaines, à court terme, ou à plus long terme plusieurs années après les expositions, demeure une vraie question de santé publique. Parmi les nombreux effets sur la santé qui ont pu être attribués aux pesticides figurent certains cancers, des maladies neurologiques, des troubles de la reproduction, mais également des affections respiratoires, immunologiques, endocriniennes, dermatologiques,... Plusieurs rapports d'expertise se sont attachés à établir un bilan des connaissances disponibles concernant les risques pour la santé (INSERM 2013⁵⁶, EFSA 2013⁵⁷). L'expertise collective INSERM a notamment proposé des niveaux de présomption pour les principaux effets de santé documentés, et pour certaines molécules lorsque cela était possible, en s'appuyant sur les données disponibles concernant les mécanismes toxicologiques. Ainsi, au vu des données disponibles, un niveau de présomption fort a été attribué au lien entre les expositions aux pesticides des personnes travaillant en agriculture et les lymphomes malins non hodgkiniens, le myélome multiple, le cancer de la prostate et la maladie de Parkinson. De plus, la présomption d'un lien entre exposition aux pesticides et malformations congénitales, leucémie ou tumeur cérébrale de l'enfant a été jugé forte, en particulier lors d'expositions professionnelles des mères lors de la grossesse.

La mise en relation de ces effets avec des matières actives spécifiques ou même des familles de matières actives reste complexe. En effet, la majorité des résultats épidémiologiques ciblant des matières actives ou des familles chimiques proviennent d'une même et seule cohorte américaine (*Agricultural Health Study*) ayant exploré le lien avec 50 substances les plus vendues dans les deux états concernés par l'étude (Iowa et Caroline du Nord), et principalement représentées par des insecticides et des herbicides utilisés dans des contextes de grandes cultures, identifiées par le déclaratif des personnes interrogées. Aussi les effets de santé ont été dans la littérature essentiellement rapportés aux familles les plus anciennes et les plus largement utilisées comme certains organochlorés (lindane, DDT) ou organophosphorés (malathion). Par ailleurs, l'établissement de relation dose-effet est limité par le manque de données quantitatives.

C'est pourquoi les rapports INSERM et EFSA ont tous deux souligné que la notion d'exposition était l'élément central de l'estimation des risques sanitaires, et insisté sur la nécessité d'améliorer les connaissances dans ce domaine. Les développements méthodologiques sur la question des

⁵⁶ INSERM, 2013. Pesticides. Effets sur la santé.. Collection expertise collective, Inserm, Paris, 1015 pp.

⁵⁷ EFSA 2013. Literature review on epidemiological studies linking exposure to pesticides and health effects. <http://www.efsa.europa.eu/fr/supporting/pub/497e.htm>

expositions environnementales et professionnelles sont reconnus comme une priorité scientifique, aboutissant notamment à des concepts nouveaux, tels que celui « d'exposome » visant à définir le plus précisément possibles l'historique des expositions des individus au cours de la vie, en parallèle de la détermination du génome avec lequel il interagit. Cette vision intégrée des expositions est aussi celle recommandée par l'Initiative Française pour la Recherche en Environnement Santé (IFRES) afin de structurer la recherche dans les domaines de la toxicologie, de l'épidémiologie et des sciences humaines et sociales. Ainsi, constatant la variété des contextes d'usages des pesticides dans lesquels les études existantes ont été menées et l'inégalité de la qualité de mesure de l'exposition, l'expertise collective INSERM souligne l'importance d'améliorer les connaissances sur les expositions actuelles et passées et préconise que ces questionnements soient intégrés dans les volets recherche des différents plans nationaux, tels qu'Ecophyto.

Dès son lancement, le plan Écophyto mettait en lumière la question de la santé des agriculteurs et des consommateurs et la présentait comme un enjeu important des actions de réduction et d'amélioration de l'utilisation des pesticides, en affirmant « la réduction du recours aux produits phytopharmaceutiques constitue le moyen le plus efficace pour réduire l'exposition de la population face à ces produits dangereux ». Même si peu de données documentent aujourd'hui cette question, la diminution des usages (réduction des doses et/ou des quantités totales utilisées) constitue très vraisemblablement un élément important dans la réduction des expositions des personnes travaillant en agriculture et des riverains. Il est également nécessaire de prendre en considération d'autres déterminants de l'exposition des individus tels que l'organisation du travail, les pratiques, les caractéristiques de l'exploitation, le matériel ou encore les équipements de protection individuels. Le volet recherche du plan, s'est positionné initialement dans une perspective essentiellement agronomique, ne permettant pas d'intégrer les besoins de recherche dans le domaine de l'exposition et de la santé des populations humaines. En 2011, un axe 9 a été ajouté au plan initial, dans l'objectif de « faire progresser la sécurité des utilisateurs professionnels » et de « supprimer les risques et faire une évaluation des risques qui ne peuvent être évités ». Trois groupes d'actions principales ont été définis : le premier sur les équipements de travail et les conditions de préparation des bouillies, le second sur les équipements de protection individuelle et le troisième sur la veille sanitaire. Au-delà de ces actions, le manque persistait d'une recherche scientifique dans le domaine de l'exposition des personnes travaillant en agriculture qui permette de développer des études pertinentes sur la question de la santé.

L'étude des expositions des **consommateurs et de la population générale**, fréquemment qualifiées « d'environnementales », nécessite de considérer des voies d'expositions multiples (aérienne, alimentaire, résidentielle,...) et d'autres types de produits (biocides,...). Ceci est pris en compte dans le **Plan National Santé Environnement 3** qui mentionne dans ses objectifs « établir le lien entre la contamination des milieux, les biomarqueurs d'exposition, et les données de santé » (objectif 2.1), en précisant la nécessité d'améliorer la connaissance des expositions dans la population *via* l'exploitation des données de biosurveillance, de mesurer les pesticides dans l'air, de documenter les expositions et usages dans l'objectif de réaliser des évaluations de risque sanitaires (incluant la surveillance des pesticides dans les aliments, dans l'eau de consommation et dans l'air).

En revanche, l'exposition des **personnes travaillant en agriculture, des riverains et des personnes résidant sur des exploitations** n'est pas couverte par ce plan, et s'inscrit pleinement dans les recommandations récemment formulées dans le cadre des perspectives autour du **Plan Ecophyto**.

Présenté à la fin de l'année 2014 dans la perspective d'une nouvelle version du plan Ecophyto, le rapport du député Dominique Potier soulignait en effet la « nécessité de suivre et maîtriser l'ensemble des risques, avec priorité à la santé humaine ». Parmi les 68 recommandations présentées dans ce rapport, figurent « Soutenir les enquêtes épidémiologiques relatives aux opérateurs », « Améliorer la chaîne de prévention », « Accélérer le retrait de substances dangereuses pour la santé », « Mettre la recherche au service de la maîtrise des risques », « Instaurer une véritable phytopharmacovigilance », autant d'enjeux de santé publique qui encouragent la recherche sur l'exposition et la santé des personnes travaillant en agriculture. Plusieurs axes se dessinent concernant les besoins de recherche dans ce domaine.

1 Evaluer des outils/systèmes de surveillance épidémiologique des populations exposées/développer des recherches utilisant ces bases de données

Divers réseaux visant à recenser les effets indésirables des pesticides après leur mise sur le marché se sont développés en France depuis une vingtaine d'années. En premier lieu, le réseau Phyt'attitude de la Mutualité Sociale Agricole (précédemment réseau de toxicovigilance en Agriculture) enregistre les observations d'effets indésirables signalés à un numéro vert par les utilisateurs, et/ou leurs médecins du travail, dans l'objectif d'évaluer l'imputabilité de ces effets, généralement aigus, aux pesticides utilisés. En second lieu, le réseau des centres anti-poisons recueille les cas d'intoxications dans le cadre de la réponse téléphonique aux urgences. L'Institut de Veille Sanitaire a mis en place le groupe Phytoveille chargé d'analyser les alertes des centres anti-poisons afin de mieux connaître les effets indésirables des pesticides sur la santé. L'Observatoire des Résidus de Pesticides, coordonné par l'ANSES, a lui pour mission la mise en place d'un système d'information mutualisant les données de différentes bases.

Ce panorama complexe est en cours de transformation, suite à la loi d'Avenir pour l'Agriculture, l'Alimentation et la Forêt, votée le 11 septembre 2014 par l'Assemblée Nationale. Celle-ci précise dans son Article 1^{er} qu'elle doit « contribuer à la protection de la santé publique et de la santé des agriculteurs et des salariés agricoles ». Concrètement, l'article L 253-8-1 de la loi prévoit la mise en place d'un dispositif dit de « phytopharmacovigilance » ayant pour mission la surveillance des effets indésirables des produits phytopharmaceutiques, notamment sur l'homme (mais également sur l'abeille, les plantes cultivées, la faune sauvage, la biodiversité, l'eau, les sols, la qualité de l'air et des aliments). Ce dispositif devra « recenser, les incidents, accidents, ou effets indésirables des produits phytopharmaceutiques en particulier sur l'homme, en s'appuyant sur les déclarations des détenteurs de l'AMM, mais aussi des fabricants, importateurs, distributeurs, utilisateurs professionnels, conseillers et formateurs ». Ces divers systèmes, existants ou en voie de constitution, ont pour objectif de produire des éléments de description concernant les expositions, les plaintes ou effets sur la santé.

En parallèle des systèmes de surveillance des effets de santé, et de manière à soutenir les recherches sur les effets sanitaires, il est important de développer des initiatives de collecte de données d'usages et d'exposition des pesticides en agriculture, en mettant en place notamment des panels d'agriculteurs suivis au cours du temps afin de décrire l'utilisation des matières actives utilisées et des pratiques, et leurs évolutions.

A cette étape, il paraît utile de stimuler des recherches qui viseraient soit à évaluer ces systèmes de surveillance et/ou leurs évolutions, soit à renforcer/utiliser les données produites par ces systèmes pour les intégrer dans des recherches sur le lien entre exposition et santé. Enfin, les données produites au niveau français bénéficieraient de mises en perspective par rapport à des données

internationales de surveillance sur les expositions ou les effets des pesticides sur la santé, dans le cadre de projets européens par exemple.

2 Estimer des risques de santé pour les populations professionnellement exposées

Les récentes expertises collectives réalisées par l'INSERM et l'EFSa témoignent qu'en dépit des imprécisions notables concernant l'estimation des expositions dans les études de santé aujourd'hui publiées, des risques ont pu être mis en évidence concernant plusieurs pathologies. Cependant les données disponibles dans la littérature internationale ont été principalement obtenues dans le contexte nord-américain et ne rendent pas compte des éventuels risques associés à des substances utilisées dans des contextes spécifiques tels que ceux de l'arboriculture, du maraîchage ou de la viticulture. Même pour les grandes cultures, les pratiques et les conditions d'exposition ne sont pas nécessairement bien représentées par les études menées dans d'autres contextes internationaux, tels que les études nord-américaines. Il semble donc important de développer de nouvelles études, prenant en compte les particularités du contexte agricole français.

L'analyse de la littérature démontre la nécessité de mener ces nouvelles études, à la fois dans le domaine de la toxicologie et dans celui de l'épidémiologie, en intégrant de nouvelles estimations de l'exposition qui soient les plus précises possibles, s'appuyant sur des données agronomiques, et prenant en compte les réalités du terrain..

La cohorte AGRICAN, mise en place en 2006, dispose d'un positionnement privilégié dans le paysage français sur cette question, compte-tenu de l'importance de la population incluse (plus de 180 000 personnes) et de la diversité des secteurs agricoles qu'elle permet d'étudier. Elle permet de répondre à de nombreuses questions concernant l'impact d'une exposition aux pesticides en France en milieu professionnel dans la survenue de pathologies cancéreuses, mais aussi respiratoires ou neurologiques.

Il convient d'encourager de telles études épidémiologiques, qui s'appuient sur des historiques d'exposition pour les personnes travaillant en agriculture, qui documentent les niveaux et la nature des expositions au cours du temps (cultures, élevages, familles de substances, matières actives) et qui soient ainsi en mesure d'identifier des risques à long terme. Ces études doivent également considérer les risques pour des populations vulnérables, par la prise en compte de facteurs de risque associés (âge, sexe, antécédents médicaux personnels, prédispositions génétiques), ou par l'identification de niveaux d'exposition élevés (en lien avec le statut professionnel, les tâches réalisées, leur durée,...). Les spécificités de certains territoires pourront être également documentées (comme par exemple les particularités attachées aux cultures dans les territoires d'outre-mer). L'amélioration des connaissances sur le lien entre exposition et santé bénéficiera également d'une part de la capacité à établir des relations dose-effet (et donc à quantifier les expositions des individus), d'autre part de l'étude de fenêtres critiques vis-à-vis de l'exposition, pendant lesquelles le risque de développer ultérieurement un effet de santé serait plus élevé (par exemple au cours de la vie fœtale, de la petite enfance, de l'adolescence...).

L'étude des effets sur la santé s'appuiera également sur le développement d'études toxicologiques permettant d'argumenter la plausibilité biologique du lien entre exposition et effet. Ceci est un élément déterminant dans le jugement de causalité d'une association entre exposition aux pesticides et problème de santé. Les études toxicologiques devront être en mesure de conclure sur des niveaux d'exposition pertinents par rapport aux conditions auxquelles sont effectivement soumises les

personnes travaillant en agriculture, ainsi que leurs modalités : faibles doses répétées, associations de plusieurs substances lors d'un traitement, d'une saison de traitement ou au cours de la vie. Les données toxicologiques doivent permettre d'identifier des associations de substances dont l'effet serait additif, synergique ou potentialisateur pour certains effets de santé. Chaque fois que cela sera possible, ces études toxicologiques identifieront ou prendront en compte le mode d'action des substances identifiées sur des cibles biologiques.

3 Produire des données concernant les expositions des personnes travaillant en agriculture, en situation réelle d'utilisation des pesticides agricoles

Des études ont été réalisées dans divers pays et dans différents contextes agricoles pour documenter les niveaux d'exposition des personnes, principalement lors d'opération de traitement, mais également lors de tâches impliquant une réentrée dans les cultures. Cependant, ces études demeurent en nombre limité et ne couvrent pas la totalité des contextes. La majorité des données d'exposition ont en fait été produites dans le cadre de la constitution des dossiers en appui aux demandes d'autorisation des substances, et ne sont pas librement accessibles (couvertes par le secret des firmes les ayant produites). Quelques études existent également sur l'exposition des riverains de parcelles agricoles, mais les données originales, qui ont servi à l'élaboration de modèles utilisés pour la réglementation, ne sont pas davantage accessibles. Ces études d'exposition doivent notamment permettre de mieux apprécier la gradation des niveaux en fonction des caractéristiques des expositions et d'apprécier les différences entre les tâches de traitement, les autres tâches sur l'exploitation et les expositions de voisinage. La documentation des niveaux d'exposition des personnes travaillant en agriculture et des riverains est un élément particulièrement important pour la recherche de relations dose-effet dans les études de santé, elles-mêmes essentielles à la recherche de liens de causalité entre les expositions et les effets. Par ailleurs les études d'exposition sont particulièrement utiles aux actions et aux recherches en matière de prévention. Elles représentent un excellent moyen de sensibilisation des préventeurs et des populations et viennent donc en appui des préconisations concernant les réductions d'usage ou le changement de pratiques. Enfin, les données obtenues permettront de réviser/compléter les modèles d'exposition existants, en particulier ceux utilisés dans le cadre de la mise sur le marché des produits.

C'est pourquoi les études visant à documenter les niveaux d'exposition et leurs déterminants, ainsi que celles qui permettent de disposer d'une estimation de l'exposition cumulée sur l'ensemble d'une carrière professionnelle doivent être particulièrement encouragées.

Celles-ci pourront s'appuyer sur les recommandations formulées par l'OCDE pour les études en champ, et ainsi mesurer la contamination externe (cutanée et/ou respiratoire) des individus lors des différentes phases de travail : préparation des bouillies, application des bouillies en champ, nettoyage du matériel, réparation du matériel, manipulations des ingrédients et des emballages avant et après traitement, tâches diverses impliquant une réentrée dans les champs, récolte... Ces mesures pourront être effectuées sur et sous les équipements de protection individuelle de manière à documenter à la fois l'exposition potentielle et l'exposition réelle, et à estimer par la même occasion le niveau de protection conféré par les équipements de protection. Les situations et les secteurs agricoles aujourd'hui peu documentés seront étudiés en priorité, et les études devront inclure un nombre suffisamment important d'individus, et refléter au mieux le secteur agricole qu'elles visent à documenter. Les expositions lors de tâches de réentrée au contact des cultures ou

d'autres tâches sur l'exploitation au contact du matériel ou des surfaces contaminées nécessitent notamment aujourd'hui davantage d'études.

Concernant les expositions des riverains, il paraît utile de documenter par des études de terrain les niveaux des substances dans l'air, aussi bien au moment des traitements qu'à plus long terme, et pour différentes distances par rapport aux zones traitées. Ces études chercheront également à identifier les déterminants de ces niveaux comme par exemple la nature de la substance active, la nature et les particularités de la culture traitée, les pratiques de traitement, le type de pulvérisateur, les données météorologiques, les particularités des parcelles,... L'identification de ces déterminants doit permettre d'élaborer des modèles utiles dans les études épidémiologiques, et pouvant être confrontés à ceux utilisés dans la cadre de la réglementation.

Ces études pourront être complétées par des mesures de contamination interne (mise au point et/ou dosage de marqueurs biologiques d'exposition ou d'effet, notamment à l'aide de techniques à haut débit comme la métabolomique) en associant des compétences en toxicologie analytique. Afin de mieux connaître les déterminants des expositions, ces études associeront une démarche d'observation qui permettra de documenter les caractéristiques susceptibles de faire varier les niveaux d'exposition. Ces déterminants pourront être de natures très variées, et leur mise en évidence pourra faire appel à des champs disciplinaires multiples et complémentaires (épidémiologique, ergonomique, sociologique, économique, politique ...).

Au-delà des études de terrain, la connaissance des expositions bénéficiera d'autres approches. Parmi celles-ci figure le développement de **matrices cultures-exposition**, qui permettent la reconstitution des historiques d'exposition utiles à l'identification des risques à long terme. La méthodologie du développement de ces matrices devra être rigoureuse et détaillée, s'appuyant sur des sources d'information diverses et complémentaires. Les paramètres inclus dans ces matrices devront permettre la construction d'indices d'exposition utilisables dans les études épidémiologiques (probabilité, fréquence, intensité d'exposition), et il sera fait état des incertitudes qui peuvent accompagner leur détermination. Par ailleurs, le développement d'algorithmes ou de méthodes statistiques adaptés pour l'analyse de phénomènes latents est souhaitable de manière à prendre en compte les paramètres d'exposition de la manière la plus pertinente possible dans les études épidémiologiques cherchant à calculer des risques à long terme.

Il importe également de **développer des études méthodologiques** permettant de comparer les différentes méthodes d'estimation des expositions aux pesticides entre elles.

4 Développer et évaluer des actions de prévention permettant de diminuer les expositions

Même si des incertitudes persistent concernant les substances en cause, les niveaux responsables d'effets, l'impact des associations de produits, ou encore les mécanismes de toxicité chez l'homme, les connaissances disponibles sont suffisantes pour préconiser la diminution des expositions des populations humaines. Après mise sur le marché des substances, diverses mesures de prévention peuvent concourir à cet objectif. Celles-ci peuvent concerner des réductions d'usage, la conception du matériel (cabines des tracteurs, pulvérisateurs, ...), les équipements de protection individuelle (combinaisons, gants, masque), des modifications d'organisation du travail, la formation et le conseil des personnes travaillant en agriculture.

Les éléments fondamentaux pour une **réduction des usages de pesticides** en France ont été posés dès 2005 par l'Expertise Scientifique Collective « Pesticides » de l'INRA⁵⁸ et plus récemment par l'expertise technique Ecophyto Recherche et Développement⁵⁹. Elles ont distingué des logiques i) d'amélioration de l'efficacité des interventions par un raisonnement accru (logique de « *la bonne dose au bon moment* » à partir d'observations de terrain) permettant théoriquement de supprimer des traitements inutiles et de limiter les quantités utilisées, ii) de substitution de molécules chimiques par des techniques qualifiées d'alternatives (ne nécessitant pas le recours au chimique) ou par des molécules ayant un profil toxicologique moins défavorable, permettant de limiter l'usage des produits qu'on cherche à remplacer, iii) des logiques basées sur des principes de gestion agronomique visant à reconcevoir les systèmes pour créer des conditions défavorables au développement des bio-agresseurs des cultures, en favorisant notamment une régulation naturelle des ravageurs. Il est à noter que ces réflexions se sont développées sans lien avec celles qui concernent l'exposition des personnes travaillant en agriculture et leur santé. **Il semble important d'estimer de quelle manière ces stratégies pour une réduction des usages de pesticides sont cohérentes avec la réduction des expositions des personnes travaillant en agriculture. De telles recherches ne peuvent se faire que grâce à un décloisonnement des disciplines et à un travail pluridisciplinaire, notamment entre les sciences de la santé et celles de l'agronomie.**

Concernant le matériel, des évolutions considérables ont été observées au cours des dernières décennies, y compris dans le domaine de l'épandage des pesticides, dans l'objectif initial de diminuer la peine des travailleurs agricoles mais très rapidement aussi dans un objectif d'augmenter les rendements. Dans ce contexte de développement extrêmement rapide de la mécanisation, les premiers risques identifiés pour les travailleurs ont été les accidents associés à l'utilisation d'engins motorisés. La prise de conscience que la conception des appareils de traitement devrait également éviter le contact entre le pesticide et l'opérateur reste aujourd'hui très limitée. Des questions diverses ont été peu à peu soulevées, par exemple en viticulture concernant l'usage des pulvérisateurs pneumatiques qui génèrent des gouttes encore plus petites et donc plus susceptibles d'être inhalées, ou encore des risques de contamination liés aux pulvérisateurs à dos, aux brouettes à chenilles dont les éléments de pulvérisation sont très proches de l'opérateur, ou encore la capacité de protection conférée par les cabines filtrantes proposées par les constructeurs. Le matériel est un élément déterminant de l'exposition de l'opérateur, attesté par des études métrologiques réalisées dans plusieurs contextes, et notamment en France dans le cadre du programme PESTEXPO. A chacune des phases du traitement (préparation de la bouillie, traitement, nettoyage du matériel) les spécificités des différents types de matériel (machines, tracteurs, automoteurs, enjambeurs) et des pulvérisateurs conditionnent les expositions. **Il semble donc important aujourd'hui de documenter par des recherches appropriées de quelle manière les caractéristiques du matériel, les évolutions des nouveaux équipements, mais aussi les adaptations du parc existant, sont en mesure de diminuer les expositions des opérateurs.**

⁵⁸ Aubertot et al., 2005 - Réduire l'utilisation des pesticides et en limiter les impacts environnementaux. Expertise scientifique collective Inra. Cemagref, 64 p.

⁵⁹ Butault et al., 2010 - Synthèse du rapport d'étude Ecophyto R&D : quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? Synthèse du rapport d'expertise Ecophyto R&D, 92p.

Même si la fréquence de leur port effectif sur le terrain par les opérateurs reste débattue, notamment dans des zones où les conditions météorologiques les rendent particulièrement inconfortables, les **équipements de protection individuelle** (EPI ; combinaisons, gants, masque) restent considérés comme un élément clé de la prévention en matière de protection des utilisateurs vis-à-vis des expositions pesticides. Néanmoins leur efficacité en matière de diminution des expositions des opérateurs nécessite d'être mieux documentée. Une alerte concernant la perméation des combinaisons a conduit à retirer un certain nombre d'entre-elles du marché. Plus récemment, les travaux conduits par l'Anses ont mis en évidence que des actions de recherches étaient nécessaires en ce qui concerne la réduction des expositions en fonction des EPI et des tâches réalisées. Par ailleurs, d'autres questions se posent concernant l'utilisation des EPI, telle que la représentation des risques (individuelle et sociale), la dimension économique de leur achat et renouvellement, ou encore l'élimination des équipements usagés souillés. **C'est pourquoi des recherches permettant d'apporter des connaissances concernant la réduction d'exposition effective en fonction des tâches, des pratiques, des contextes agricoles ou de l'applicabilité des mesures paraissent importantes à mener.**

De la même manière, la formation et le conseil sont considérés comme des moyens importants pour réduire les expositions aux pesticides des personnes travaillant en agriculture. Certiphyto a ainsi été proposé dans le cadre du plan Ecophyto pour renforcer la formation à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques des utilisateurs et des distributeurs. Cependant l'évaluation de l'efficacité de ce dispositif en matière de réduction des expositions des opérateurs n'a jamais été envisagée de manière rigoureuse avec une méthodologie scientifique. Certaines études de terrain ont identifié des écarts importants entre les recommandations enseignées et la réalité de leur mise en œuvre dans les situations réelles d'utilisation des produits. **Il semble nécessaire de développer des recherches permettant d'évaluer avec rigueur l'efficacité des mesures de formation et de conseil qui sont dispensées aux professionnels, incluant la formation Certiphyto.**

Au total, de nombreuses limites peuvent être suspectées pour chacune des mesures de prévention aujourd'hui destinées à limiter les expositions aux pesticides des personnes travaillant en agriculture. Celles-ci devraient notamment intégrer de manière forte les conditions réelles de travail, et couvrir la diversité des cultures et des tâches conduisant potentiellement à une exposition. Elles devraient aussi intégrer le facteur temps (dégradation du matériel ou des équipements de protection au cours du temps, modification des combinaisons après plusieurs lavages), les contraintes physiques (bouchages de buses, incidents de matériel) et météorologiques (climats chauds et/ou humides) et enfin les contraintes physiologiques (chaleur, inconfort) et psychologiques des opérateurs (dénier du risque, représentations individuelles et sociales de la prévention...). **Il existe un besoin important de recherche évaluative dans ce domaine, employant des méthodes scientifiques rigoureuses pour connaître l'impact réel des mesures existantes. Celles-ci doivent suivre des protocoles comparatifs (avant/après la mesure, entre groupes disposant de stratégies distinctes), et s'appuyer sur des approches pluridisciplinaires intégrant des disciplines telles que l'épidémiologie, l'agronomie, l'ergonomie, l'expologie, la sociologie, la psychologie, les sciences de l'éducation ...**

PROJETS LABELISES ECOPHYTO par ordre de chapitre du Programme scientifique

Le présent bilan se focalise sur les appels à projets de recherche, dans lesquels des projets ont été labellisés, par le Groupe d'Experts Recherche, comme pouvant répondre aux objectifs du plan Ecophyto. Il ne recouvre ni la totalité des recherches menées sur la réduction de l'usage des produits phytosanitaires ni la totalité des financements Etat, notamment le programme annuel "Développement Agricole et Rural" des instituts techniques agricoles (environ 14 M€/an) ou les programmes propres des organismes de recherche.

Acronyme	Projet de recherche intitulé	Porteur	Responsable scientifique	Chapitre principal programme scientifique	Début	Fin	Origine Appel à projets	Montant de l'aide (en €)	Origine de l'aide
Bactériose kiwi	Amélioration des moyens de lutte contre <i>Pseudomonas syngae</i> pv <i>actinidiae</i> , agent de la bactériose du kiwi : biologie du ravageur, étude épidémiologique, outils de diagnostic et moyens de lutte	CTIFL	Bernard HENNION	I	2013	2015	CAS IP 12	232 693	MAAF/Casdar
COLEOTOOL	Développement d'outils moléculaires en vue d'identifier les principaux charançons ravageurs des crucifères et leurs auxiliaires parasitoïdes	CETIOM	Céline ROBERT	I	2013	2016	CAS RFI 13	285 029	MAAF/Casdar
DetecTavAnthrac	Détection précoce des maladies fongiques : tavelure du pommier et antrachnoses du noyer par imagerie hyperspectrale	CTIFL	Pierre VAYSSE	I	2015	2018	CAS RT 14	283 092	MAAF/Casdar
DIAPOCAR	Etude de <i>Diaporthe angelicae</i> , champignon ré-émergent responsable des grillures d'ombelles en production de semences de carotte.	FNAMS	Emmanuelle LAURENT	I	2012	2015	CAS SSV 12	160 000	MAAF/Casdar
<i>Drosophila suzukii</i>	<i>Drosophila suzukii</i> : connaissance du ravageur, caractérisation du risque et évaluation de méthodes pour sa maîtrise rapide et durable	CTIFL	Claire WEYDERT	I	2013	2015	CAS IP 12	385 047	MAAF/Casdar
INFLOWEB	Conception et diffusion d'une application web Floristique permettant l'accès aux connaissances malherbologiques et aux recommandations opérationnelles de lutte contre les principales adventices des grandes cultures	CETIOM	Jean LIEVEN	I	2011	2013	CAS IP 10	145 627	MAAF/Casdar
MicCODetect	Mise au point d'un capteur optique de détection pré-symptomatique de <i>Septoria tritici</i> pour la lutte intégrée contre la septoriose du blé	ARVALIS - Institut du végétal	David GOUACHE, Jean-Charles DESWARTE	I	2010	2013	CAS RFI 10	283 356	MAAF/Casdar
Orobanches	Spécificité de l'interaction orobanches/plante hôte : mise au point d'un outil d'identification et d'un test de résistance.	GEVES	Matthieu ROLLAND	I	2012	2015	CAS SSV 12	160 000	MAAF/Casdar
Pathogènes aériens	Mise au point et faisabilité de méthodes de surveillance épidémiologique des pathogènes aériens des principales espèces de grandes cultures	CETIOM	Xavier PINOCHET	I	2012	2014	CAS RFI 12	253 641	MAAF/Casdar
Pressions biotiques	Etude de faisabilité du développement et de la valorisation d'une base de données sur l'évolution des pressions biotiques dans les parcelles agricoles	INRA	Vincent CELLIER	I	2010	2011	GIS GC HP2E	52 530	GIS GC HP2E
PYROFUS	Développement d'un outil moléculaire innovant pour la caractérisation du complexe d'espèces de <i>Fusarium</i> sur blé	ANSES	Anne-Laure BOUTIGNY	I	2013	2016	PSPE1	108 000	Ecophyto
RESOLIM	Evaluation et prévention du risque lié aux populations de limaces nuisibles aux grandes cultures : constitution d'un réseau expérimental permettant de comprendre l'impact des pratiques agricoles et des facteurs environnementaux	ACTA	André CHABERT	I	2013	2015	CAS IP 12	393 188	MAAF/Casdar
SYNOEM	Mieux profiter de la synergie entre réseaux d'observations, expertise et modélisation pour l'élaboration du Bulletin de Santé du Végétal	ACTA	François BRUN	I	2013	2016	PSPE1	198 316	Ecophyto
Taupins	Protection des cultures contre les attaques de taupins : prévision des risques et élaboration de nouvelles techniques de lutte	ARVALIS - Institut du végétal	Jean-Baptiste THIBORD	I	2011	2014	CAS IP 11	498 390	MAAF/Casdar
VESPA	Valeur et optimisation des dispositifs d'épidémiosurveillance dans une stratégie durable de protection des cultures	INRA	Xavier REBOUD	I	2013	2016	PSPE1	105 028	Ecophyto
Vigiweed	Exploitation des données d'épidémiosurveillance des adventices	INRA	Xavier REBOUD	I	2008	2012	ANR OGM	318 179	ANR
AGATH	Gestion agro-écologique du puceron <i>Aphis gossypii</i> et du thrips <i>Thrips tabaci</i> en culture de melon ou de poireau	CTIFL	Sébastien PICAULT	II	2013	2015	CAS IP 12	390 787	MAAF/Casdar
AGROBIOSE	Biodiversité et services écosystémiques en agro-systèmes céréaliers intensifs : utilisation des concepts de l'agro-écologie pour atteindre les objectifs Ecophyto	CNRS Chizé	Vincent BRETAGNOLLE	II	2014	2017	ANR AGRO 13	400 000	Ecophyto
AGRUM'AIDE	Elaboration d'un outil d'aide à la décision pour la conception et l'évaluation de vergers d'agrumes durables	CIRAD	Fabrice LE BELLEC	II	2014	2017	FRB 13	123 213	Ecophyto
ALTERBIO	Alternatives biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananes plantain	IRD	Patrick LAVELLE	II	2010	2013	Pestic 09	200 000	Ecophyto
API-AGRO	Plate-forme de références agronomiques au service du pilotage des systèmes agricoles et de suivi de l'état du milieu	ACTA	Emeric EMONET, Medhi SINE	II	2013	2016	CAS RFI 13	292 260	MAAF/Casdar

ARCHIDEMIO	Modéliser les interactions entre développement et architecture de la plante et épidémies de maladies fongiques aériennes, pour une gestion durable des cultures.	INRA	Bernard TIVOLI	II	2009	2012	ANR SYS 08	738 429	ANR
ASPIB	Approche systémique pour appréhender les communautés de bioagresseurs : application à la protection intégrée du blé	INRA	Jean-Noël AUBERTOT	II	2010	2013	Pestic 09	60 000	Ecophyto
BASIS3P	Evaluation de systèmes de cultures arboricoles à bas niveaux d'intrants et transfert aux arboriculteurs	CRA PACA	Vincent MERCIER	II	2011	2013	CAS IP 10	406 252	MAAF/Casdar
BIOCONTROL	Biodiversité fonctionnelle : effet de l'environnement paysager d'une parcelle de vigne sur le niveau de régulation naturelle de ses ravageurs	IFV	Gilles SANTENAC	II	2013	2015	CAS IP 12	486 763	MAAF/Casdar
BIODIVLEG	Biodiversité fonctionnelle des abords de parcelles pour la maîtrise des principales mouches des cultures légumières de plein champ	CTIFL	Sébastien PICAULT	II	2009	2011	CAS IP 08	500 000	MAAF/Casdar
BIOPHYTO	Production durable de mangues sans insecticide à la Réunion	CRA Réunion	Jean-Philippe DEGUINE	II	2012	2014	CAS IP 11	500 000	MAAF/Casdar
BIOTHIRPIDAES	Biodiversité des thripidea et protection intégrée des agro-systèmes serres	ASTREDHOR	Alexandre BOUT	II	2013	2015	CAS RFI 12	300 000	MAAF/Casdar
CASIMIR	Développements méthodologiques pour une Caractérisation SIMplifiée des pressions biotiques et des Régulations biologiques	INRA	Vincent CELLIER	II	2013	2016	PSPE1	220 405	Ecophyto
CoSAC	Conception de Stratégies durables de gestion des Adventices dans un contexte de Changement (Climat, pratiques agricoles, biodiversité)	INRA	Nathalie COLBACH	II	2015	2019	ANR PROD 14	250 000	Ecophyto
DEXIFRUIT	Développement d'un outil d'évaluation de la durabilité de systèmes de production commun aux différentes filières arboricoles et au service des acteurs des réseaux	INRA	Aude ALAPHILIPPE	II	2013	2015	PSPE1	98 598	Ecophyto
ECHAP	Réduire l'utilisation des fongicides en associant stratégies de traitement optimales et couverts échappant aux maladies	INRA	Corinne ROBERT	II	2010	2013	Pestic 09	194 241	Ecophyto
ECOCANNE	Gestion agro-écologique intégrée du foreur des tiges et des mauvaises herbes de la canne à sucre	CIRAD Réunion	Samuel NIBOUCHE	II	2013	2015	CAS IP 12	365 958	MAAF/Casdar
ECOFUSA	Lutte contre les fusarioses des épis de blé : de l'utilisation raisonnée des fongicides aux méthodes de luttes alternatives	ARVALIS - Institut du végétal	Emmanuelle GOURDAIN, Estelle MOREAU	II	2010	2013	CAS RFI 10	283 426	MAAF/Casdar
EOHERBI	Evaluation technique, économique et environnementale de pratiques de gestion de la flore adventice permettant de réduire la quantité d'herbicides appliqués en grandes cultures	ACTA	Alain RODRIGUEZ	II	2011	2014	CAS IP 11	387 440	MAAF/Casdar
ECOPROTECTGRAIN	Economie et innovation en protection raisonnée des céréales et oléo protéagineux contre l'infestation par les insectes au stockage	ARVALIS - Institut du végétal	Bruno BARRIER-GUILLOT, Etienne LOSSER, Christine BAR	II	2010	2012	CAS IP 09	295 940	MAAF/Casdar
ECOVERGER	Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs. Une approche par modélisation appliquée au pêcher et au manguiier.	CIRAD	Isabelle GRECHI	II	2015	2018	Pestic 14	88 921	Ecophyto
ECOVITI	Concevoir en partenariat une Eco-viticulture économiquement viable et écologiquement responsable par rapport aux pesticides	IFV	David LAFOND	II	2011	2013	CAS IP 10	411 658	MAAF/Casdar
FLORSYS	Analyse et modélisation des effets des pratiques agricoles sur les services et disservices écosystémiques dépendant des adventices – Application à l'évaluation et la conception de systèmes de culture économes en herbicides	INRA	Nathalie COLBACH	II	2012	2015	Pestic 11	79 452	Ecophyto
GAMOUR	Gestion Agroécologique des Mouches des légumes à La Réunion. Conception, mise au point et transfert en milieu producteur de technologies innovantes dans un cadre participatif. Application à l'Agriculture Biologique	CRA Réunion	Jean-Philippe DEGUINE	II	2009	2011	CAS IP 08	472 020	MAAF/Casdar
INNOVAB	Conception et optimisation de systèmes de culture innovants en grandes cultures biologiques	ITAB	Laurence FONTAINE	II	2014	2016	CAS IP 13	475 528	MAAF/Casdar
LANDSCAPHID	Influence du paysage sur les pucerons ravageurs des cultures et le potentiel de contrôle biologique - Application à l'ingénierie écologique pour la gestion des ravageurs	INRA	Manuel PLANTAGENEST	II	2010	2013	ANR SYS 09	1 150 490	ANR
MICMAC-DESIGN	Conception et évaluation par expérimentation et modélisation de prototypes de systèmes de culture intégrés à bas niveaux d'intrants	INRA	Eric JUSTES	II	2010	2013	ANR SYS 09	999 805	ANR
NEMALUZ	Approche intégrée pour le contrôle du nématode des tiges, Ditylenchus dipsaci, sur la luzerne (Medicago sativa L.).	FNAMS	Julie GOMBERT	II	2012	2015	CAS SSV 12	56 490	MAAF/Casdar
PEBIB	Analyse stratégique des relations Pratiques - Environnement - Bioagresseurs - Pertes de récoltes	ACTA	François BRUN	II	2013	2016	PSPE1	81 860	Ecophyto
PEERLESS	Predictive Ecological Engineering for Landscape Ecosystem Services and Sustainability	INRA	Pierre FRANCK	II	2013	2016	ANR AGRO 12	500 000	Ecophyto
PHIPPAM	Viability d'une gestion écologique renforcée de la santé des plantes dans les paysages agricoles	FNAPAM	Michel KRAUSZ	II	2011	2013	CAS IP 10	86 619	MAAF/Casdar
PICOBLE	Protection Intégrée des rotations avec Colza et blé tendre : Conception et évaluation multicritères d'itinéraires techniques économes en produits phytosanitaires	CETIOM	Xavier PINOCHET	II	2009	2011	CAS IP 08	498 500	MAAF/Casdar
RegPuc	Quelles stratégies d'irrigation et de fertilisation pour réguler les populations de puceron vert en vergers de pêchers ?	INRA	Marie-Odile JORDAN	II	2015	2018	Pestic 14	90 000	Ecophyto

SCEP-DEPHY	Systèmes de culture économes et performants du réseau DEPHY : identification, caractérisation et évaluation multicritère	INRA	Nicolas MUNIER-JOLAIN	II	2013	2016	PSPE1	148 850	Ecophyto
Scérolég	Protection intégrée des cultures légumières vis-à-vis de Sclerotinia : comprendre le pathogène et ses processus épidémiologiques clés pour combiner et maîtriser les modes de gestion économes en intrants phytosanitaires	CTIFL	François VILLENEUVE	II	2014	2016	CAS RT 13	292 260	MAAF/Casdar
SOLUTION	Stimulation des régulations naturelles via la diversification des systèmes de culture à l'échelle du paysage	INRA	Adrien RUSCH	II	2014	2016	FRB 13	176 695	Ecophyto
SUNFLO	Intégration des contraintes biotiques dans la modélisation dynamique des interactions génotype-environnement-conduite de culture pour une production intégrée du tournesol	CETIOM	Emmanuelle MESTRIES	II	2010	2013	CAS RFI 10	254 077	MAAF/Casdar
VITINNOBIO	Repérer, caractériser et partager des innovations pour concevoir des systèmes viticoles innovants et accompagner le développement de la viticulture biologique	IFV	Céline BERTHIER	II	2014	2016	CAS IP 13	245 996	MAAF/Casdar
4P	Evaluation des caractéristiques et de l'intérêt agronomique de préparations simples de plantes pour des productions fruitières, légumières et viticoles économes en intrants	ITAB	Monique JONIS	III	2010	2012	CAS IP 09	472 850	MAAF/Casdar
ACAROSOL	Contrôle Biologique des Acariens ravageurs sur Solanaceae	Montpellier SupAgro	Marie-Stéphane TIXIER	III	2015	2018	PSPE2	90 347	Ecophyto
ACTINOVIGNE	Réduction de l'utilisation des pesticides par l'emploi des bactéries actinomycétales comme nouvelle source de biofongicides pour contrôler les maladies fongiques de la vigne Vitis vinifera L	Univ. de Reims Champagne-Ardenne	Christophe CLEMENT, Essaid AIT BARKA	III	2010	2013	Pestic 09	179 600	Ecophyto
ADVHERB	Gestion agro-écologique de la flore adventice dans des systèmes à bas niveaux d'herbicides	INRA	Sandrine PETIT	III	2009	2012	ANR SYS 08	984 440	ANR
ALLIANCE	Amélioration des performances écologiques et économiques par association de plantes de services à la séquence culturale blé / colza	INRA	Muriel VALANTIN-MORISON	III	2014	2016	CAS IP 13	486 664	MAAF/Casdar
ALT'CARPO	Impacts agronomiques et environnementaux d'une méthode de lutte permettant de réduire fortement l'usage des pesticides : les filets Alt'Carpo en arboriculture	INRA	Yvan CAPOWIEZ, Aude ALAPHILLIPE	III	2010	2013	Pestic 09	200 692	Ecophyto
AM&BAS	Agro-messages et lutte contre les bio-agresseurs insectes en production de semences et en grandes cultures	INRA	Brigitte FREROT	III	2015	2017	PSPE2	100 000	Ecophyto
ARCHITECHDOSE VITI	Méthodologie et scénari d'optimisation agroenvironnementale de la pulvérisation sur vigne en fonction de l'architecture de la végétation et du matériel utilisé	IFV	Sébastien CODIS	III	2014	2016	CAS RT 13	292 202	MAAF/Casdar
ATTRACTMYFLY	Développement d'attractifs et auto-dissémination de champignons entomopathogènes pour lutter contre la mouche du melon Bactrocera cucurbitae	CIRAD	Serge QUILICI	III	2015	2018	PSPE2	100 000	Ecophyto
AUXIMORE	Optimisation du contrôle biologique des bioagresseurs en système de grandes cultures (connaissances, outils de suivi et de conseil à destination des agriculteurs)	CRA Picardie	Régis WARTELE	III	2012	2014	CAS IP 11	464 073	MAAF/Casdar
BELAROSA	Mise au point d'un test en routine d'identification de la sensibilité/résistance à la maladie des taches noires de variétés de rosier en vue de leur commercialisation	INRA Angers	Laurence HIBRAND-SAINT OYANT	III	2014	2017	CAS SSV 14	76 411	MAAF/Casdar
BIOBOT	Optimisation du biocontrôle pour lutter contre la pourriture grise de la vigne, gestion globale et intégrée	IFV	Nicolas AVELINE	III	2015	2018	PSPE2	96 845	Ecophyto
BIOCCYD	Biocontrôle du carpocapse de la pomme, Cydia pomonella (BIOControl of CYDIA pomonella)	INRA	Nicolas RIS	III	2015	2018	PSPE2	103 918	Ecophyto
BIOCOUC	Lutte BIOlogique contre la maladie du court-noué de la vigne : Impact de l'intégration de techniques culturales impliquant des jachères en inter-culture et l'utilisation d'un porte-greffe résistant, sur les populations de nématodes ; compréhension du mode d'action des plantes COUVre-sol à effet nématicide	INRA	Olivier LEMAIRE	III	2015	2017	Pestic 14	102 180	Ecophyto
Biofumigation	Gestion intégrée des bioagresseurs telluriques en systèmes de cultures légumières	INRA	Philippe LUCAS	III	2009	2012	ANR SYS 08	935 074	ANR
BIOLIM	Techniques innovantes de biocontrôle contre les mollusques terrestres nuisibles aux cultures : Recherche de méthodologie d'évaluation adaptée à leur écophysiologie	ACTA	André CHABERT	III	2015	2018	PSPE2	100 000	Ecophyto
BIONEMATO	Optimisation d'un bionémicide à vocation grandes cultures : cas de la culture de plants de pomme de terre	EURL SIPRE	Virginie GOBERT-DEVEAUX	III	2015	2018	PSPE2	103 486	Ecophyto
BIOPIPER	Production durable d'extraits naturels bioicides de deux Pipéracées à la Réunion	CIRAD	Jean-Philippe DEGUINE	III	2014	2017	CAS IP 14	425 509	MAAF/Casdar
BIOTI-VIGNE	Biotisation de plants de vigne en pépinière pour prévenir les maladies du bois	INRA	Marc FERMAUD	III	2015	2017	PSPE2	88 848	Ecophyto
Cépages de demain	Créer les cépages de demain avec les outils d'aujourd'hui	IFV	Loïc Le CUNFF	III	2010	2013	CAS RFI 10	218 994	MAAF/Casdar
Chicorées	Exploration de la diversité génétique du genre chicorées (Chicorium intybus, C. endiva) en vue de la sélection et de la caractérisation de tolérances à deux bioagresseurs majeurs, Phytophthora cryptogea et Sclerotinia sclerotiorum	APEF	Marc BENIGNI, Laurent CASSAN	III	2013	2016	CAS SSV 13	69 359	MAAF/Casdar
Combinaisons d'éléciteurs	Combinaison de molécules élicitrices stimulant les défenses naturelles de la vigne pour une lutte préventive contre la pourriture grise, le mildiou et l'oidium. Conditions contrôlées versus vignoble	Univ. de Reims Champagne-Ardenne	Fabienne BAILLIEUL	III	2009	2012	DGER	205 182	Dger-A2PV Vigne
CORS'APHY	Evaluation de la régulation assurée par les espèces du genre Aphytis et d'autres auxiliaires indigènes sur les communautés de cochenilles diaspines dans les vergers d'agrumes	INRA	Philippe KREITER	III	2014	2016	FRB 13	21 691	Ecophyto
Cotation pour la résistance	Céréales à paille : affinement des méthodes de cotation pour la résistance variétale aux bioagresseurs et étude de l'évolution du niveau de résistance du catalogue français.	GEVES	Valérie CADOT	III	2012	2014	CAS SSV 12	50 000	MAAF/Casdar
CRUCIAL	Phénotypage de variétés de cultures intermédiaires multiservices pour réduire la pression de bioagresseurs. Crucifères utilisées comme culture intermédiaire monospécifique ou associées à des légumineuses pour une complémentarité de services écosystémiques	INP-EI Purpan	Lionel ALLETTO	III	2013	2016	CAS SSV 13	156 805	MAAF/Casdar

Cynips	:Cynips du châtaignier : mise en oeuvre et développement de la maîtrise de ce ravageur émergent par des moyens de contrôle biologiques	CTIFL	Bernard HENNION	III	2012	2014	CAS IP 11	212 191	MAAF/Casdar
D²BIOFRUITS	:Développement de méthodologies d'évaluation des pertes et étude de l'efficacité des procédés compatibles avec l'agriculture biologique pour désinfecter les fruits	CTIFL	Sébastien LUROL	III	2014	2016	CAS IP 13	318 206	MAAF/Casdar
DeciTrait	:Système expert opérationnel de la décision de traitement en viticulture	IFV	Alexandre DAVY	III	2015	2017	CAS RT 14	298 347	MAAF/Casdar
DEFILEG	:Développer la recherche pour rendre disponibles des substances efficaces à moindre impact (L'utilisation de stimulateurs de défenses naturelles des plantes en cultures légumières: le projet DEFILeg)	CTIFL	Marie TORRES	III	2010	2012	CAS IP 09	441 757	Ecophyto
Désherbage mécanique	:Optimiser et promouvoir le désherbage mécanique en grandes cultures et productions légumières	ITAB	Laurence FONTAINE	III	2009	2011	CAS IP 08	481 320	MAAF/Casdar
DI@GNOPHYT	:Diagnostic et stratégies de protection intégrée des cultures - Apport des TIC pour revisiter les relations entre porteurs du changement et agriculteurs - cas de la vigne et de la tomate	ACTA	Philippe DELVAL	III	2015	2017	CAS RT 14	288 549	MAAF/Casdar
DICABIO	:Valorisation des acides Dicaféoylquiniques et dicaféoyltartriques comme substances naturelles de Biocontrôle	INRA	Marie-Hélène SAUGE	III	2015	2018	PSPE2	110 658	Ecophyto
Échaudure des pommes	:Évaluation et mise au point de méthodes alternatives aux traitements chimiques après-récolte permettant de lutter contre l'échaudure de prématurité des pommes sans dégradation de la qualité	CTIFL	Vincent MATHIEU-HURTIGER	III	2011	2013	CAS IP 10	265 890	MAAF/Casdar
ECOPRO	:Évaluation des gains potentiels sur l'impact environnemental et la productivité agronomique d'une éco-biotechnologie alternative à des traitements phytosanitaires prescrits ou non spécifiques : cas de la bio-stimulation ciblant la virulence régulée par quorum-sensing lors de la culture de plants de pomme de terre	CNRS Gif-Sur-Yvette	Denis FAURE	III	2010	2013	Pestic 09	90 000	Ecophyto
ECOSPRAYVITI	:Développement des écotechnologies de la pulvérisation en viticulture	IFV	Sébastien CODIS	III	2011	2013	DGER	250 000	Ecophyto
EDGARR	:Exploitation de la sélection génomique afin d'accélérer la création de variétés résistantes et qualitatives pour la filière viticole rosé	IFV	Loïc LE CUNFF	III	2014	2017	CAS SSV 14	200 000	MAAF/Casdar
FERTIPRO	:Utiliser la fertilisation pour agir sur la santé des plantes et favoriser leur protection	CTIFL	Christiane RAYNAL-LACROIX	III	2010	2012	CAS IP 09	462 550	MAAF/Casdar
FLEUR	:Manipulation de la biodiversité floristique en grandes cultures	Université Rennes 1	Joan VAN BAAREN	III	2015	2018	PSPE2	141 748	Ecophyto
HE	:Évaluation de l'intérêt de l'utilisation des huiles essentielles dans des stratégies de protection des cultures	ITAB	Côme ISAMBERT	III	2013	2015	CAS IP 12	456 906	MAAF/Casdar
Horticulture de précision	:Développement d'outils d'aide à la décision en cultures horticoles sous serre : vers une horticulture de précision	ASTREDHOR	Fabien ROBERT	III	2011	2014	CAS RFI 11	295 043	MAAF/Casdar
INULA	:Évaluation des services écosystémiques et potentiels effets non-intentionnels liés à une plante méditerranéenne, l'inule visqueuse – Implication en protection intégrée sous serres et en oléiculture	INRA	Nicolas RIS	III	2012	2015	Pestic 11	130 500	Ecophyto
LIPOCONTROLE	:Recherche de nouveaux lipopeptides utilisables comme biopesticides, par criblage d'une collection de Pseudomonas	Université Lille 1	Philippe JACQUES	III	2015	2018	PSPE2	100 000	Ecophyto
MacroPlus	:Quelles techniques pour renforcer l'installation de Macrolophus pygmaeus ?	GRAB	Jérôme LAMBION	III	2015	2018	PSPE2	99 233	Ecophyto
MilPomBio	:Mildiou de la pomme de terre : recherche et maîtrise des produits de biocontrôle dans un schéma de protection intégrée des cultures	Vegenov	Marie TURNER	III	2015	2018	PSPE2	104 950	Ecophyto
MUSCARI	:Mélanges botaniques utiles aux systèmes de culture et auxiliaires permettant une réduction des insecticides	GRAB	Jean-Louis HEMPTINNE	III	2014	2017	CAS IP 14	440 481	MAAF/Casdar
NABUCO	:Nouveaux Agents Bio-marins Utilisables en COntôle biologique	Université d'Angers	Thomas GUILLEMETTE	III	2015	2018	PSPE2	99 521	Ecophyto
Nématodes laitue	:Recherche de résistances aux nématodes à galles chez la laitue	INRA	Brigitte MAISONNEUVE	III	2013	2016	CAS SSV 13	114 158	MAAF/Casdar
Nice Crops	:Bio-stimulateurs chitiniques naturels pour une agriculture durable	Université Paul Sabatier Toulouse	Guillaume BECARD	III	2015	2019	ANR PROD 14	767 839	ANR
Oïdium melon	:Caractérisation de la virulence de Podosphaera xanthii agent causal de l'oïdium du melon et développement d'un système de codification des races.	CLAUDE	Thierry JAUNET	III	2012	2015	CAS SSV 12	90 107	MAAF/Casdar
oléiculture faible niveau d'intrants	:Oléiculture à faible niveau d'intrants : acquisition de références techniques et structuration d'un réseau partagé de performances technico-économiques	GRAB (Avignon)	François WARLOP	III	2010	2012	CAS IP 09	173 090	MAAF/Casdar
OPTIBAN	:Lutte contre les cercosporioses du bananier aux Antilles françaises - Amélioration des techniques d'épandage par voie aérienne et recherche d'alternatives terrestres	IRSTEA	Dominique DIDELOT, Jean-Paul DOUZALS	III	2008	2011	DIVERS	500 000	DGAL
OPTIM'PHERO	:Optimiser les Phéromones et Transposer les résultats obtenus sur la processionnaire du pin à d'autres Insectes Modèles, lépidoptères ravageurs des Zones Non Agricoles. Solutions innovantes de biocontrôle pour d'autres lépidoptères	INRA	Jean-Claude MARTIN	III	2015	2018	PSPE2	98 393	Ecophyto
PEPS	:Évaluation et optimisation de l'utilisation de stimulateurs de défense des plantes (SDP) dans les stratégies de protection phytosanitaire en verger de pommier : PEPS - Fruits à pépins et stimulation des défenses	INRA	Marie-Nôelle BRISSET	III	2014	2017	CAS IP 14	333 338	MAAF/Casdar
PHERAFAB	:Associations colza-fabacées : efficacité et pertinence contre une adventice parasite majeure, l'orobanche rameuse	Univ. de Nantes	Philippe SIMIER	III	2013	2016	CAS SSV 13	93 790	MAAF/Casdar

PhyToel	Références et outils pour optimiser l'utilisation de phytosanitaires en systèmes de polyculture - élevages herbivores	IDELE	Philippe TRESCH	III	2014	2016	CAS IP 13	445 439	MAAF/Casdar
PraBioTel	Maîtrise des bioagresseurs telluriques par la gestion des systèmes de culture : utilisation de pratiques améliorantes en cultures légumières	CTIFL	Céline JANVIER	III	2009	2011	CAS IP 08	500 000	MAAF/Casdar
PRO-BIO-TAUPIN	Évaluation de solutions de biocontrôle pour la protection des cultures contre les dégâts de taupins	ARVALIS – Institut du Végétal	Jean-Baptiste THIBORD	III	2015	2017	PSPE2	113 891	Ecophyto
pulvérisation intelligente	Pulvérisation intelligente	Pellenc SA	Jean-Marc GIALIS	III	2008	2011	DGER	479 651	Dger-A2PV Vigne
R2B	Caractérisation de l'inoculum pathogène Rhizoctonia Solani, responsable du rhizoctone brun de la betterave (Beta vulgaris) et évaluation de la résistance/tolérance variétale	INRA	Christian STEINBERG	III	2013	2016	CAS SSV 13	150 000	Ecophyto
REPARE	Régulation Par les Araignées des Ravageurs en vergers	INRA	Pierre FRANCK	III	2014	2016	FRB 13	114 346	Ecophyto
RESGRAPE2	Vers l'exploitation d'une nouvelle source de résistance au mildiou et à l'oidium de la vigne.	INRA	Didier MERDINOGLU	III	2012	2015	CAS SSV 12	78 615	MAAF/Casdar
RÉSIBAC	Prediction de l'apparition du chancre bactérien (Pseudomona syringae) chez les arbres fruitiers ; preuve de concept	INRA	Jean-Marc AUDERGON	III	2013	2016	CAS SSV 13	110 146	MAAF/Casdar
Résistance TSWV piment	Alternatives durables à une résistance contournée : potentiel des résistances quantitatives au virus TSWV chez le piment	INRA	Alain PALLOIX, Benoît MOURY	III	2014	2017	CAS SSV 14	110 032	Ecophyto
ResistFol	Résistance durable aux maladies foliaires chez le blé dur : développement d'outils d'aide à la décision	GIE Blé dur	Henriette GOYEAU	III	2014	2017	CAS SSV 14	165 700	MAAF/Casdar
RESNAVI	Exploitation des résistances naturelles pour une viticulture à faibles intrants phytosanitaires	INRA	Christophe SCHNEIDER	III	2009	2012	DGER	336 000	Dger-A2PV Vigne
RhizoDia	Tests de régulation de populations de cochenilles diaspiques en culture de cassis par lâchers d'une coccinelle coccidiphage Rhizobius lophantae et transposition à d'autres cultures fruitières concernées par des cochenilles diaspiques	CTIFL	Marie-Cécile DALSTEIN	III	2015	2018	PSPE2	87 128	Ecophyto
ROSA FORTISSIMA	Maîtrise des maladies fongiques du feuillage des rosiers de jardin : vers une démarche de valorisation et labellisation des ressources génétiques économes en intrants phytosanitaires	ASTREDHOR	Mathilde MASSOT, Laetitia PORCHER, Florian BRYONE	III	2011	2013	CAS RFI 10	283 426	MAAF/Casdar
SERUM	Désinfection des sols en cultures maraîchères	Université François Rabelais de Tours	Ingrid ARNAULT	III	2015	2018	PSPE2	140 930	Ecophyto
SUZUCI	Développement d'une méthode de lutte biologique contre le ravageur de cultures Drosophila suzukii basée sur l'utilisation de bactéries symbiotiques manipulatrices de la reproduction	Univ. Lyon	Laurence MOUTON	III	2014	2016	FRB 13	149 552	Ecophyto
SYDERET	Conception et transfert de systèmes décisionnels pour une réduction des traitements phytosanitaires sur vigne	INRA	Denis THIERY	III	2008	2011	DGER	298 862	Dger-A2PV Vigne
SYSTEMYC	Conception de SYSTEmes de culture basés sur l'utilisation de la MYCOrhization pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques de la tomate	INRA	Marie CHAVE	III	2015	2018	PSPE2	99 297	Ecophyto
TABLE-RES	Analyse des résistances de créations variétales de raisin de table et pré-développement en vue de leur inscription	IFV	Loïc Le CUNFF	III	2012	2014	CAS SSV 12	127 581	Ecophyto
ticsad	Améliorer les pratiques des produits phytosanitaires en amenant les agriculteurs et les prestataires à utiliser des technologies innovantes en viticulture et en arboriculture (Les nouvelles technologies pour réduire les quantités de produits phytosanitaires et leurs impacts sur l'environnement)	CRA Languedoc-Roussillon	Christel CHEVRIER	III	2009	2011	CAS IP 08	223 060	MAAF/Casdar
TriPTIC	Trichogramma pour la protection des cultures : Pangénomique, Traits d'histoire de vie et Capacités d'établissement	Montpellier SupAgro	Jean-Yves RASPLUS	III	2015	2019	ANR PROD 14	150 000	Ecophyto
Triticum turgidum	Caractérisation d'une nouvelle source de résistance à la fusariose au sein de Triticum turgidum ssp. Développement d'outils d'aide à la sélection	GIE Blé Dur	Pierre ROUMET	III	2012	2015	CAS SSV 12	160 000	Ecophyto
TritiSafe	Caractérisation des champignons pathogènes responsables des nécroses foliaires du triticales et création d'idéotypes multi-résistants pour des semences de qualité et une agriculture durable	GIE Triticale	christophe JEUDI	III	2014	2017	CAS SSV 14	180 687	Ecophyto
TUTAPI	Mise en place d'une protection biologique contre Tuta absoluta, ravageur invasif de la tomate	ITAB	Elisabeth TABONE	III	2011	2013	CAS IP 10	473 359	MAAF/Casdar
USAGE	Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes	Univ. François Rabelais de Tours	Ingrid ARNAULT	III	2012	2014	CAS IP 11	355 733	Ecophyto
VIRAPHID	VirAphid : comment utiliser les résistances des plantes pour gérer durablement l'évolution des virus et des pucerons ?	INRA	Nathalie BOISSOT	III	2011	2014	ANR SYS 10	859 986	ANR
Virus de la mosaïque	Amélioration de l'évaluation de la résistance de la courgette aux Cucumber mosaic virus (CMV), Zucchini yellow mosaic virus (ZYMV) et Watermelon mosaic virus (WMV).	GEVES	Valérie GRIMAUULT	III	2012	2015	CAS SSV 12	51 476	MAAF/Casdar
Xanthomonas	Phénotypage des interactions entre les espèces végétales et les Xanthomonas	INRA-IRHS	Tristan BOUREAU	III	2013	2016	CAS SSV 13	76 752	MAAF/Casdar
CORKYRES	Mise au point d'un test d'évaluation de la résistance des variétés de tomates aux corky root	GEVES	Valérie GRIMAUULT	IV	2013	2016	CAS SSV 13	53 490	MAAF/Casdar
GESTER	Gestion régionale des variétés résistantes	INRA	Christian LANNOU	IV	2012	2015	ANR AGRO 11	514 289	ANR

ICOSCOP	Intégration des nouvelles connaissances sur les interactions plantes-champignon pour développer des stratégies de gestion des résistances du colza au phoma	INRA	Marie-Hélène BALESDENT	IV	2012	2015	CAS SSV 12	160 000	Ecophyto
MDRisque	Évaluation du risque de la résistance multirégionale chez l'agent de la septoriose du blé <i>Mycosphaerella graminicola</i>	INRA	Anne-Sophie WALKER, Sabine FILLINGER	IV	2015	2018	Pestic 14	103 120	Ecophyto
Mosaïques de l'orge	Mosaïques de l'orge : identification des virus prédominants impactant sur le rendement et la qualité technologique, en vue d'orienter la sélection vers une résistance durable	GEVES	Valérie CADOT	IV	2013	2016	CAS SSV 13	210 000	MAAF/Casdar
Nématodes à galles	Comparaison expérimentale de stratégies de déploiement de gènes de résistance pour la gestion durable des nématodes à galles	INRA	Caroline DJIAN-CAPORALINO	IV	2008	2013	ANR SYS 08	935 441	ANR
NEMATOOLS	Développement d'outils pour la maîtrise durable du risque nématodes en plant de pomme de terre et cultures en rotation	FN3PT	Anne-Claire LE ROUX-NIO	IV	2015	2017	CAS RT 14	239 639	MAAF/Casdar
RESAUBER	Gestion durable des résistances génétiques à <i>R. solanacearum</i> chez l'aubergine (<i>Solanum melongena</i>)	CIRAD Réunion	Jacques DINTINGER	IV	2013	2016	CAS SSV 13	160 500	MAAF/Casdar
SeptoDUR	Contribution à la durabilité de la lutte génétique et chimique contre la septoriose du blé dur par la caractérisation des populations du complexe d'espèces responsable de cette maladie.	ARVALIS - Institut du végétal	Julie TOUSSAINT	IV	2012	2015	CAS SSV 12	116 970	MAAF/Casdar
VASCULEG	Maîtriser des maladies vasculaires telluriques en cultures maraîchères : comment préserver durablement l'efficacité du greffage et des résistances variétales par l'intégration de techniques complémentaires ?	CTIFL	François VILLENEUVE	IV	2011	2013	CAS IP 10	414 264	MAAF/Casdar
ALTERPHYTO	Approches juridiques des protections alternatives contre les ennemis des cultures	Univ. Jean Moulin Lyon3	Philippe BILLET	V	2012	2014	Pestic 11	80 050	Ecophyto
AVERSIONRISK	Rôle de l'aversion au risque des agriculteurs dans l'utilisation des pesticides et implications pour la régulation	INRA	Douadia BOUGHERARA	V	2010	2013	Pestic 09	273 958	Ecophyto
CHANGER	Échanger sur le métier de conseiller : pour accompagner plus efficacement les agriculteurs dans le changement en productions végétales	CRA Normandie	Bertrand OMON	V	2013	2016	CAS IP 12	383 588	MAAF/Casdar
Conseillers demain	Conseillers demain : Accompagner les conseillers pour intégrer l'enjeu de réduction des produits phytosanitaires	CDA Eure-et-Loir	Michel BEZINE, Pierre SAVY, Olivia DAVID	V	2010	2012	CAS IP 09	474 520	MAAF/Casdar
DAS-REVI	Développement et appropriation sociotechnique des résistances variétales en viticulture durable	INRA	François HOCHEREAU	V	2015	2018	Pestic 14	134 868	Ecophyto
DIDACPHYTO	DIDACPHYTO	AgroSup Dijon	Paul OLRY	V	2013	2016	Pestic 11	78 520	Ecophyto
DYNRURABIO	DynRurABio : dynamiques de développement de l'agriculture biologique pour une écologisation des territoires	INRA	Marc TCHAMITCHIAN	V	2011	2014	ANR SYS 10	949 967	ANR
ECORESSOURCE	Évaluer la robustesse des performances de systèmes économes en produits phytosanitaires et faciliter leur compréhension	FRCIVAM Pays-de-Loire	Alexis DE MARGUERIE	V	2013	2015	CAS IP 12	454 703	MAAF/Casdar
PEPITES	Processus Ecologiques et Processus d'Innovation Technique et Sociale en Agriculture de Conservation	INRA	Stéphane de TOURDONNET	V	2009	2012	ANR SYS 08	1 041 015	ANR
PESTIMUTE-GEN	Intermédiation et transition : processus de généralisation et d'institutionnalisation d'expériences locales de réduction de pesticides	INRA	Marianne CERF	V	2013	2016	PSPE1	103 638	Ecophyto
PRUNUS	Réalités et perspectives de l'écologisation en arboriculture fruitière. Pour une approche intégrant conception variétale, redéfinition des pratiques culturales, et coordination au sein du système agri-alimentaire, à partir du cas des vergers d'abricotiers et pêchers	INRA	Claire LAMINE	V	2012	2015	Pestic 11	126 115	Ecophyto
PSYCHOPEST	Représentations sociales des pesticides et changements de pratiques chez les agriculteurs français	Univ. de Nîmes	Karine WEISS	V	2013	2015	Pestic 11	123 789	Ecophyto
RESYST	Résistance des SYStèmes agricoles Tropicaux à la réduction des pressions de pollution par les pesticides à l'échelle du bassin versant	CIRAD	Magalie LESUEUR JANNOYER	V	2015	2018	Pestic 14	106 276	Ecophyto
RODONTICIDES	Réduire l'usage des rodenticides dans les prairies par une compréhension des points de vues des agriculteurs et de leurs contraintes de système : élaboration d'une méthode anthropologique appliquée à la lutte contre le campagnol terrestre. (Réduire l'usage de la bromadiolone dans la lutte contre le campagnol terrestre : les enseignements d'une analyse agro-anthropologique)	Vet Agro Sup	Yves MICHELIN	V	2010	2012	Pestic 09	53 914	Ecophyto
COUD'POUCE	Comportement et Usage Des pesticides : POUr des Contrats Environnementaux innovants	Montpellier SupAgro	Sophie THOYER	VI	2012	2015	Pestic 11	87 155	Ecophyto
POPSY	Systèmes de Production en Grandes Cultures, Environnement, Politiques Publiques	INRA	Florence JACQUET	VI	2009	2012	ANR SYS 08	725 105	ANR
TRAJECTOIRES	Trajectoires familiales et utilisation des pesticides dans des territoires agricoles à enjeux	Univ.Aix-Marseille	Carole BARTHELEMY	VI	2015	2018	Pestic 14	89 991	Ecophyto
VINPEST	Une évaluation expérimentale des consentements à la réduction de l'utilisation des pesticides dans le vin	ESC Dijon	Angela SUTAN	VI	2010	2013	Pestic 09	80 000	MEDDE
ARPEGES	Analyse de Risque Pesticides pour la Gestion des Eaux de Surface	IRSTEA	Véronique GOUY	VII	2011	2012	ONEMA R&D	265 563	Ecophyto
CEPAG	Contamination des eaux de surface par les pesticides : évaluation de la part des apports gazeux aériens.	INRA	Carole BEDOS	VII	2011	2012	ONEMA R&D	54 966	Ecophyto
Chaîne pressions-impacts	Développement d'outils et d'indicateurs pour mieux évaluer et gérer la chaîne pressions-impacts des pesticides sur les eaux de surface	IRSTEA	Véronique GOUY	VII	2012	2014	ONEMA R&D	310 000	Ecophyto
Contaminations diffuses	Développement d'un modèle national pour l'évaluation des risques de contaminations diffuses des milieux aquatiques par les produits phytopharmaceutiques dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau et de mesures de gestion nationale de certaines molécules	Footways	Gaëlle DERONZIER, Nicolas DOMANGE	VII	2011	2014	ONEMA R&D	358 800	Ecophyto

ECCOTER	Les mesures agro-environnementales à enjeu «Eau/Pesticides» : Evaluation environnementale et économique de l'impact de modifications de pratiques agricoles par modélisation intégrée à partir de scénarios d'évolution	IRSTEA	Sylvain ROUSSET, Françoise VERNIER	VII	2010	2013	Pestic 09	145 650	Ecophyto
ECOPEST	Evaluation et comparaison des performances de systèmes de culture innovants conçus pour réduire l'usage des pesticides : lien entre pratiques, pressions et impacts	INRA	Laure MAMY	VII	2013	2016	Pestic 11	84 318	Ecophyto
EQUIPE	Evaluation de la Qualité prédictive d'Indicateurs Pesticides et du domaine d'utilisation	INRA	Christian BOCKSTALLER	VII	2013	2015	PSPE1	95 684	Ecophyto
GUIDE	Démarche méthodologique pour une utilisation pertinente des indicateurs relatifs aux produits phytosanitaires	INRA	Christian BOCKSTALLER	VII	2011	2012	ONEMA R&D	40 500	Ecophyto
IMPEC	Développement d'indicateurs microbiens pour l'évaluation de l'impact des pesticides sur des fonctions écosystémiques terrestres et aquatiques	INRA	Fabrice MARTIN-LAURENT	VII	2012	2015	Pestic 11	80 164	Ecophyto
INDREGARB	Indicateurs biologiques d'impacts liés à la régulation naturelle des ravageurs en arboriculture fruitière	INRA	Claire LAVIGNE	VII	2013	2016	PSPE1	99 839	Ecophyto
M6P	Modélisation rétrospective et prospective des accidents de ponte chez la perdrix grise (Perdix perdix) en plaine de grande culture en relation avec l'usage agricole de produits phytopharmaceutiques	ONCFS	Elisabeth BRO, James DEVILLERS	VII	2012	2015	Pestic 11	76 164	Ecophyto
MODAPEX	Modélisation de la dispersion aérienne des pesticides et des niveaux d'exposition à l'échelle du paysage	INRA	Yves BRUNET	VII	2010	2013	Pestic 09	61 303	MEDDE
MYRI-AIDE	Etude de Myriophyllum comme bioindicateur de la qualité des eaux en zone agricole	CNRS Metz	Elisabeth GROSS	VII	2013	2015	ANSES EST 12	50 211	Ecophyto
PERFORM	Approches de modélisation pour l'évaluation et la comparaison des performances environnementales de systèmes de culture innovants conçus pour réduire l'usage des pesticides : intégration spatiale et temporelle, traitement des incertitudes	INRA	Laure MAMY	VII	2013	2016	PSPE1	107 248	Ecophyto
PLAGE 2	Conception et mise en oeuvre d'une plate-forme d'évaluation environnementale mettant à disposition des acteurs du monde agricole des outils et des indicateurs agri-environnementaux	Agro-Transfert RT	Marie-Béatrice GALAND	VII	2010	2012	CAS IP 09	321 944	Ecophyto
RESCAPE	Résistance des paysages agricoles aux transferts de pesticides dans les sols et les organismes vivants (RESistance of agricultural landSCAPEs to pesticide transfers in soils and living organisms)	INRA	Céline PELOSI	VII	2015	2018	Pestic 14	111 540	Ecophyto
SEBIOPAG-PHYTO	Niveaux de régulation biologique et d'usage de produits phytosanitaires le long d'un gradient de pratiques et de paysages : une analyse comparative à partir du réseau SEBIOPAG	INRA	Sandrine PETIT	VII	2014	2016	FRB 13	183 489	Ecophyto
TRAM	Gestion de la toxicité en zone Ramsar	IAMM	Philippe LE GRUSSE	VII	2010	2013	Pestic 09	124 508	Ecophyto
zones tampons	Amélioration de l'efficacité des zones tampons vis-à-vis des pesticides et influences de la biodégradation naturelle	INRA	Fabrice MARTIN-LAURENT	VII	2011	2012	ONEMA R&D	24 500	Ecophyto
AGRICAN	Etude de cohorte AGRiculture et CANcer: phase de suivi	Centre François Baclesse	Pierre LEBAILLY	VIII	2011	2013	ANSES EST 10	200 000	Ecophyto
AGRICOH	Exposition aux pesticides et risque de lymphome et de leucémie au sein du consortium d'études AGRICOH : analyse combinée	Centre international de recherche contre le cancer (Lyon)	Maria LEON-ROUX	VIII	2012	2014	ANSES EST 11	87 984	Ecophyto
EPICEE	Exposition aux pesticides individuels ou en combinaison, évaluation des biomarqueurs (Caractérisation de l'impact d'une exposition alimentaire aux pesticides seuls ou en mélange chez la souris)	INRA	Laurence GAMET-PAYRASTRE	VIII	2009	2012	ANSES EST 09	94 708	ANSES
EVEXPE	Evaluation de l'Exposition chronique aux Pesticides : performances et optimisation des dosages sur urine et sur cheveux	CRP Santé Healthnet (Luxembourg)	Brice APPENZELLER	VIII	2011	2013	ANSES EST 10	187 074	Ecophyto
MEPIMEX	Multi-exposition de l'homme aux pesticides : évaluation des interactions métaboliques et xéno-hormonales in vitro	INRA	Roger RAHMANI	VIII	2011	2014	ANSES EST 10	196 528	Ecophyto
PESTIMPACT	Evaluation de nouveaux biomarqueurs indicatifs de la génotoxicité des pesticides chez les agriculteurs	INRA	Marc AUDEBERT	VIII	2010	2012	ANSES EST 10	40 000	ANSES
PHYTONER	Troubles neuro-comportementaux et pesticides: suivi à 12 ans de la cohorte PHYTONER	Univ. Victor Segalen Bordeaux 2	Isabelle BALDI	VIII	2008	2011	ANSES EST 08	100 000	ANSES
POPEYE	Exposition aux pesticides dans la cohorte mères-enfants Elfe et Issues de grossesse	INSERM	Cécile CHEVRIER	VIII	2014	2016	ANSES EST 13	199 762	Ecophyto
Respi enfant	Exposition aux pesticides et santé respiratoire et allergique de l'enfant en milieu rural	Univ. Victor Segalen Bordeaux 2	Chantal RAHERISON	VIII	2009	2012	ANSES EST 09	56 460	ANSES
SOCIOAGRIPEST	Pesticides et santé des travailleurs agricoles : entre mise en visibilité et invisibilisation	INRA	Nathalie JAS	VIII	2013	2016	ANSES EST 12	197 392	Ecophyto

ANR AGRO 11
ANR PROD 14
ANR SYS 08
ANSES EST 08

ANR AGROBIOSPHERE 2011
ANR Productions durables 2014
ANR SYSTERRA 2008
ANSES Environnement Santé Travail 2008

CAS IP 08
CAS RFI 10
CAS RT 13
CAS SSV 12

CASDAR Innovation et Partenariat 2008
CASDAR Recherche Finalisée et Innovation 2010
CASDAR Recherche Technologique 2013
CASDAR Semences et sélection végétales 2012

FRB 13
GIS GC HP2E
ONEMA R&D
Pestic 09
PSPE1
PSPE2
Fondation pour la recherche sur la biodiversité 2013
GIS Grandes cultures - Hautes Performances Economiques et Environnementales
ONEMA programme de Recherche et Développement
Programme Pesticides 2009
Pour et Sur le Plan Ecophyto 1 (dispositifs du plan Ecophyto)
Pour et Sur le Plan Ecophyto 2 (essor du biocontrôle)

PROJETS LABELISES ECOPHYTO par ordre de chapitre du Programme scientifique

Le présent bilan se focalise sur les appels à projets de recherche, dans lesquels des projets ont été labellisés, par le Groupe d'Experts Recherche, comme pouvant répondre aux objectifs du plan Ecophyto. Il ne recouvre ni la totalité des recherches menées sur la réduction de l'usage des produits phytosanitaires ni la totalité des financements Etat, notamment le programme annuel "Développement Agricole et Rural" des instituts techniques agricoles (environ 14 M€/an) ou les programmes propres des organismes de recherche.

Acronyme	Projet de recherche intitulé	Porteur	Responsable scientifique	Chapitre principal programme scientifique	Début	Fin	Origine Appel à projets	Montant de l'aide (en €)	Origine de l'aide
Bactériose kiwi	Amélioration des moyens de lutte contre <i>Pseudomonas syngae</i> pv <i>actinidiae</i> , agent de la bactériose du kiwi : biologie du ravageur, étude épidémiologique, outils de diagnostic et moyens de lutte	CTIFL	Bernard HENNION	I	2013	2015	CAS IP 12	232 693	MAAF/Casdar
COLEOTOOL	Développement d'outils moléculaires en vue d'identifier les principaux charançons ravageurs des crucifères et leurs auxiliaires parasitoïdes	CETIOM	Céline ROBERT	I	2013	2016	CAS RFI 13	285 029	MAAF/Casdar
DetecTavAnthrac	Détection précoce des maladies fongiques : tavelure du pommier et antrachnoses du noyer par imagerie hyperspectrale	CTIFL	Pierre VAYSSE	I	2015	2018	CAS RT 14	283 092	MAAF/Casdar
DIAPOCAR	Etude de <i>Diaporthe angelicae</i> , champignon ré-émergent responsable des grillures d'ombelles en production de semences de carotte.	FNAMS	Emmanuelle LAURENT	I	2012	2015	CAS SSV 12	160 000	MAAF/Casdar
<i>Drosophila suzukii</i>	<i>Drosophila suzukii</i> : connaissance du ravageur, caractérisation du risque et évaluation de méthodes pour sa maîtrise rapide et durable	CTIFL	Claire WEYDERT	I	2013	2015	CAS IP 12	385 047	MAAF/Casdar
INFLOWEB	Conception et diffusion d'une application web Floristique permettant l'accès aux connaissances malherbologiques et aux recommandations opérationnelles de lutte contre les principales adventices des grandes cultures	CETIOM	Jean LIEVEN	I	2011	2013	CAS IP 10	145 627	MAAF/Casdar
MicCODetect	Mise au point d'un capteur optique de détection pré-symptomatique de <i>Septoria tritici</i> pour la lutte intégrée contre la septoriose du blé	ARVALIS - Institut du végétal	David GOUACHE, Jean-Charles DESWARTE	I	2010	2013	CAS RFI 10	283 356	MAAF/Casdar
Orobanches	Spécificité de l'interaction orobanches/plante hôte : mise au point d'un outil d'identification et d'un test de résistance.	GEVES	Matthieu ROLLAND	I	2012	2015	CAS SSV 12	160 000	MAAF/Casdar
Pathogènes aériens	Mise au point et faisabilité de méthodes de surveillance épidémiologique des pathogènes aériens des principales espèces de grandes cultures	CETIOM	Xavier PINOCHET	I	2012	2014	CAS RFI 12	253 641	MAAF/Casdar
Pressions biotiques	Etude de faisabilité du développement et de la valorisation d'une base de données sur l'évolution des pressions biotiques dans les parcelles agricoles	INRA	Vincent CELLIER	I	2010	2011	GIS GC HP2E	52 530	GIS GC HP2E
PYROFUS	Développement d'un outil moléculaire innovant pour la caractérisation du complexe d'espèces de <i>Fusarium</i> sur blé	ANSES	Anne-Laure BOUTIGNY	I	2013	2016	PSPE1	108 000	Ecophyto
RESOLIM	Evaluation et prévention du risque lié aux populations de limaces nuisibles aux grandes cultures : constitution d'un réseau expérimental permettant de comprendre l'impact des pratiques agricoles et des facteurs environnementaux	ACTA	André CHABERT	I	2013	2015	CAS IP 12	393 188	MAAF/Casdar
SYNOEM	Mieux profiter de la synergie entre réseaux d'observations, expertise et modélisation pour l'élaboration du Bulletin de Santé du Végétal	ACTA	François BRUN	I	2013	2016	PSPE1	198 316	Ecophyto
Taupins	Protection des cultures contre les attaques de taupins : prévision des risques et élaboration de nouvelles techniques de lutte	ARVALIS - Institut du végétal	Jean-Baptiste THIBORD	I	2011	2014	CAS IP 11	498 390	MAAF/Casdar
VESPA	Valeur et optimisation des dispositifs d'épidémiosurveillance dans une stratégie durable de protection des cultures	INRA	Xavier REBOUD	I	2013	2016	PSPE1	105 028	Ecophyto
Vigiweed	Exploitation des données d'épidémiosurveillance des adventices	INRA	Xavier REBOUD	I	2008	2012	ANR OGM	318 179	ANR
AGATH	Gestion agro-écologique du puceron <i>Aphis gossypii</i> et du thrips <i>Thrips tabaci</i> en culture de melon ou de poireau	CTIFL	Sébastien PICAULT	II	2013	2015	CAS IP 12	390 787	MAAF/Casdar
AGROBIOSE	Biodiversité et services écosystémiques en agro-systèmes céréaliers intensifs : utilisation des concepts de l'agro-écologie pour atteindre les objectifs Ecophyto	CNRS Chizé	Vincent BRETAGNOLLE	II	2014	2017	ANR AGRO 13	400 000	Ecophyto
AGRUM'AIDE	Elaboration d'un outil d'aide à la décision pour la conception et l'évaluation de vergers d'agrumes durables	CIRAD	Fabrice LE BELLEC	II	2014	2017	FRB 13	123 213	Ecophyto
ALTERBIO	Alternatives biologiques à l'usage des pesticides dans les plantations de bananes plantain	IRD	Patrick LAVELLE	II	2010	2013	Pestic 09	200 000	Ecophyto
API-AGRO	Plate-forme de références agronomiques au service du pilotage des systèmes agricoles et de suivi de l'état du milieu	ACTA	Emeric EMONET, Medhi SINE	II	2013	2016	CAS RFI 13	292 260	MAAF/Casdar

ARCHIDEMIO	Modéliser les interactions entre développement et architecture de la plante et épidémies de maladies fongiques aériennes, pour une gestion durable des cultures.	INRA	Bernard TIVOLI	II	2009	2012	ANR SYS 08	738 429	ANR
ASPIB	Approche systémique pour appréhender les communautés de bioagresseurs : application à la protection intégrée du blé	INRA	Jean-Noël AUBERTOT	II	2010	2013	Pestic 09	60 000	Ecophyto
BASIS3P	Evaluation de systèmes de cultures arboricoles à bas niveaux d'intrants et transfert aux arboriculteurs	CRA PACA	Vincent MERCIER	II	2011	2013	CAS IP 10	406 252	MAAF/Casdar
BIOCONTROL	Biodiversité fonctionnelle : effet de l'environnement paysager d'une parcelle de vigne sur le niveau de régulation naturelle de ses ravageurs	IFV	Gilles SANTENAC	II	2013	2015	CAS IP 12	486 763	MAAF/Casdar
BIODIVLEG	Biodiversité fonctionnelle des abords de parcelles pour la maîtrise des principales mouches des cultures légumières de plein champ	CTIFL	Sébastien PICAULT	II	2009	2011	CAS IP 08	500 000	MAAF/Casdar
BIOPHYTO	Production durable de mangues sans insecticide à la Réunion	CRA Réunion	Jean-Philippe DEGUINE	II	2012	2014	CAS IP 11	500 000	MAAF/Casdar
BIOTHIRPIDAES	Biodiversité des thripidea et protection intégrée des agro-systèmes serres	ASTREDHOR	Alexandre BOUT	II	2013	2015	CAS RFI 12	300 000	MAAF/Casdar
CASIMIR	Développements méthodologiques pour une CARactérisation SIMplifiée des pressions biotiques et des Régulations biologiques	INRA	Vincent CELLIER	II	2013	2016	PSPE1	220 405	Ecophyto
CoSAC	Conception de Stratégies durables de gestion des Adventices dans un contexte de Changement (Climat, pratiques agricoles, biodiversité)	INRA	Nathalie COLBACH	II	2015	2019	ANR PROD 14	250 000	Ecophyto
DEXIFRUIT	Développement d'un outil d'évaluation de la durabilité de systèmes de production commun aux différentes filières arboricoles et au service des acteurs des réseaux	INRA	Aude ALAPHILIPPE	II	2013	2015	PSPE1	98 598	Ecophyto
ECHAP	Réduire l'utilisation des fongicides en associant stratégies de traitement optimales et couverts échappant aux maladies	INRA	Corinne ROBERT	II	2010	2013	Pestic 09	194 241	Ecophyto
ECOCANNE	Gestion agro-écologique intégrée du foreur des tiges et des mauvaises herbes de la canne à sucre	CIRAD Réunion	Samuel NIBOUCHE	II	2013	2015	CAS IP 12	365 958	MAAF/Casdar
ECOFUSA	Lutte contre les fusarioses des épis de blé : de l'utilisation raisonnée des fongicides aux méthodes de luttes alternatives	ARVALIS - Institut du végétal	Emmanuelle GOURDAIN, Estelle MOREAU	II	2010	2013	CAS RFI 10	283 426	MAAF/Casdar
ECOHERBI	Evaluation technique, économique et environnementale de pratiques de gestion de la flore adventice permettant de réduire la quantité d'herbicides appliqués en grandes cultures	ACTA	Alain RODRIGUEZ	II	2011	2014	CAS IP 11	387 440	MAAF/Casdar
ECOPROTECTGRAIN	Economie et innovation en protection raisonnée des céréales et oléo protéagineux contre l'infestation par les insectes au stockage	ARVALIS - Institut du végétal	Bruno BARRIERE-GUILLOT, Etienne LOSSER, Christine BAR	II	2010	2012	CAS IP 09	295 940	MAAF/Casdar
ECOVERGER	Conception d'itinéraires techniques économes en pesticides en vergers guidée par les contraintes et les objectifs des agriculteurs. Une approche par modélisation appliquée au pêcher et au manguiier.	CIRAD	Isabelle GRECHI	II	2015	2018	Pestic 14	88 921	Ecophyto
ECOVITI	Concevoir en partenariat une Eco-viticulture économiquement viable et écologiquement responsable par rapport aux pesticides	IFV	David LAFOND	II	2011	2013	CAS IP 10	411 658	MAAF/Casdar
FLORSYS	Analyse et modélisation des effets des pratiques agricoles sur les services et disservices écosystémiques dépendant des adventices – Application à l'évaluation et la conception de systèmes de culture économes en herbicides	INRA	Nathalie COLBACH	II	2012	2015	Pestic 11	79 452	Ecophyto
GAMOUR	Gestion Agroécologique des Mouches des légumes à La Réunion. Conception, mise au point et transfert en milieu producteur de technologies innovantes dans un cadre participatif. Application à l'Agriculture Biologique	CRA Réunion	Jean-Philippe DEGUINE	II	2009	2011	CAS IP 08	472 020	MAAF/Casdar
INNOVAB	Conception et optimisation de systèmes de culture innovants en grandes cultures biologiques	ITAB	Laurence FONTAINE	II	2014	2016	CAS IP 13	475 528	MAAF/Casdar
LANDSCAPHID	Influence du paysage sur les pucerons ravageurs des cultures et le potentiel de contrôle biologique - Application à l'ingénierie écologique pour la gestion des ravageurs	INRA	Manuel PLANTAGENEST	II	2010	2013	ANR SYS 09	1 150 490	ANR
MICMAC-DESIGN	Conception et évaluation par expérimentation et modélisation de prototypes de systèmes de culture intégrés à bas niveaux d'intrants	INRA	Eric JUSTES	II	2010	2013	ANR SYS 09	999 805	ANR
NEMALUZ	Approche intégrée pour le contrôle du nématode des tiges, Ditylenchus dipsaci, sur la luzerne (Medicago sativa L.).	FNAMS	Julie GOMBERT	II	2012	2015	CAS SSV 12	56 490	MAAF/Casdar
PEBIB	Analyse stratégique des relations Pratiques - Environnement - Bioagresseurs - Pertes de récoltes	ACTA	François BRUN	II	2013	2016	PSPE1	81 860	Ecophyto
PEERLESS	Predictive Ecological Engineering for Landscape Ecosystem Services and Sustainability	INRA	Pierre FRANCK	II	2013	2016	ANR AGRO 12	500 000	Ecophyto
PHIPPAM	Viability d'une gestion écologique renforcée de la santé des plantes dans les paysages agricoles	FNAPAM	Michel KRAUSZ	II	2011	2013	CAS IP 10	86 619	MAAF/Casdar
PICOBLE	Protection Intégrée des rotations avec Colza et blé tendre : Conception et évaluation multicritères d'itinéraires techniques économes en produits phytosanitaires	CETIOM	Xavier PINOCHET	II	2009	2011	CAS IP 08	498 500	MAAF/Casdar
RegPuc	Quelles stratégies d'irrigation et de fertilisation pour réguler les populations de puceron vert en vergers de pêchers ?	INRA	Marie-Odile JORDAN	II	2015	2018	Pestic 14	90 000	Ecophyto

SCEP-DEPHY	Systèmes de culture économes et performants du réseau DEPHY : identification, caractérisation et évaluation multicritère	INRA	Nicolas MUNIER-JOLAIN	II	2013	2016	PSPE1	148 850	Ecophyto
Scérolég	Protection intégrée des cultures légumières vis-à-vis de Sclerotinia : comprendre le pathogène et ses processus épidémiologiques clés pour combiner et maîtriser les modes de gestion économes en intrants phytosanitaires	CTIFL	François VILLENEUVE	II	2014	2016	CAS RT 13	292 260	MAAF/Casdar
SOLUTION	Stimulation des régulations naturelles via la diversification des systèmes de culture à l'échelle du paysage	INRA	Adrien RUSCH	II	2014	2016	FRB 13	176 695	Ecophyto
SUNFLO	Intégration des contraintes biotiques dans la modélisation dynamique des interactions génotype-environnement-conduite de culture pour une production intégrée du tournesol	CETIOM	Emmanuelle MESTRIES	II	2010	2013	CAS RFI 10	254 077	MAAF/Casdar
VITINNOBIO	Repérer, caractériser et partager des innovations pour concevoir des systèmes viticoles innovants et accompagner le développement de la viticulture biologique	IFV	Céline BERTHIER	II	2014	2016	CAS IP 13	245 996	MAAF/Casdar
4P	Evaluation des caractéristiques et de l'intérêt agronomique de préparations simples de plantes pour des productions fruitières, légumières et viticoles économes en intrants	ITAB	Monique JONIS	III	2010	2012	CAS IP 09	472 850	MAAF/Casdar
ACAROSOL	Contrôle Biologique des Acariens ravageurs sur Solanaceae	Montpellier SupAgro	Marie-Stéphane TIXIER	III	2015	2018	PSPE2	90 347	Ecophyto
ACTINOVIGNE	Réduction de l'utilisation des pesticides par l'emploi des bactéries actinomycétales comme nouvelle source de biofongicides pour contrôler les maladies fongiques de la vigne Vitis vinifera L	Univ. de Reims Champagne-Ardenne	Christophe CLEMENT, Essaid AIT BARKA	III	2010	2013	Pestic 09	179 600	Ecophyto
ADVHERB	Gestion agro-écologique de la flore adventice dans des systèmes à bas niveaux d'herbicides	INRA	Sandrine PETIT	III	2009	2012	ANR SYS 08	984 440	ANR
ALLIANCE	Amélioration des performances écologiques et économiques par association de plantes de services à la séquence culturale blé / colza	INRA	Muriel VALANTIN-MORISON	III	2014	2016	CAS IP 13	486 664	MAAF/Casdar
ALT'CARPO	Impacts agronomiques et environnementaux d'une méthode de lutte permettant de réduire fortement l'usage des pesticides : les filets Alt'Carpo en arboriculture	INRA	Yvan CAPOWIEZ, Aude ALAPHILLIPE	III	2010	2013	Pestic 09	200 692	Ecophyto
AM&BAS	Agro-messages et lutte contre les bio-agresseurs insectes en production de semences et en grandes cultures	INRA	Brigitte FREROT	III	2015	2017	PSPE2	100 000	Ecophyto
ARCHITECHDOSE VITI	Méthodologie et scénari d'optimisation agroenvironnementale de la pulvérisation sur vigne en fonction de l'architecture de la végétation et du matériel utilisé	IFV	Sébastien CODIS	III	2014	2016	CAS RT 13	292 202	MAAF/Casdar
ATTRACTMYFLY	Développement d'attractifs et auto-dissémination de champignons entomopathogènes pour lutter contre la mouche du melon Bactrocera cucurbitae	CIRAD	Serge QUILICI	III	2015	2018	PSPE2	100 000	Ecophyto
AUXIMORE	Optimisation du contrôle biologique des bioagresseurs en système de grandes cultures (connaissances, outils de suivi et de conseil à destination des agriculteurs)	CRA Picardie	Régis WARTELE	III	2012	2014	CAS IP 11	464 073	MAAF/Casdar
BELAROSA	Mise au point d'un test en routine d'identification de la sensibilité/résistance à la maladie des taches noires de variétés de rosier en vue de leur commercialisation	INRA Angers	Laurence HIBRAND-SAINT OYANT	III	2014	2017	CAS SSV 14	76 411	MAAF/Casdar
BIOBOT	Optimisation du biocontrôle pour lutter contre la pourriture grise de la vigne, gestion globale et intégrée	IFV	Nicolas AVELINE	III	2015	2018	PSPE2	96 845	Ecophyto
BIOCCYD	Biocontrôle du carpocapse de la pomme, Cydia pomonella (BIOControl of CYDIA pomonella)	INRA	Nicolas RIS	III	2015	2018	PSPE2	103 918	Ecophyto
BIOCOUC	Lutte BIOlogique contre la maladie du court-noué de la vigne : Impact de l'intégration de techniques culturales impliquant des jachères en inter-culture et l'utilisation d'un porte-greffe résistant, sur les populations de nématodes ; compréhension du mode d'action des plantes COUVre-sol à effet nématicide	INRA	Olivier LEMAIRE	III	2015	2017	Pestic 14	102 180	Ecophyto
Biofumigation	Gestion intégrée des bioagresseurs telluriques en systèmes de cultures légumières	INRA	Philippe LUCAS	III	2009	2012	ANR SYS 08	935 074	ANR
BIOLIM	Techniques innovantes de biocontrôle contre les mollusques terrestres nuisibles aux cultures : Recherche de méthodologie d'évaluation adaptée à leur écophysiologie	ACTA	André CHABERT	III	2015	2018	PSPE2	100 000	Ecophyto
BIONEMATO	Optimisation d'un bionémicide à vocation grandes cultures : cas de la culture de plants de pomme de terre	EURL SIPRE	Virginie GOBERT-DEVEAUX	III	2015	2018	PSPE2	103 486	Ecophyto
BIOPIPER	Production durable d'extraits naturels bioicides de deux Pipéracées à la Réunion	CIRAD	Jean-Philippe DEGUINE	III	2014	2017	CAS IP 14	425 509	MAAF/Casdar
BIOTI-VIGNE	Biotisation de plants de vigne en pépinière pour prévenir les maladies du bois	INRA	Marc FERMAUD	III	2015	2017	PSPE2	88 848	Ecophyto
Cépages de demain	Créer les cépages de demain avec les outils d'aujourd'hui	IFV	Loïc Le CUNFF	III	2010	2013	CAS RFI 10	218 994	MAAF/Casdar
Chicorées	Exploration de la diversité génétique du genre chicorées (Chicorium intybus, C. endiva) en vue de la sélection et de la caractérisation de tolérances à deux bioagresseurs majeurs, Phytophthora cryptogea et Sclerotinia sclerotiorum	APEF	Marc BENIGNI, Laurent CASSAN	III	2013	2016	CAS SSV 13	69 359	MAAF/Casdar
Combinaisons d'éléciteurs	Combinaison de molécules élicitrices stimulant les défenses naturelles de la vigne pour une lutte préventive contre la pourriture grise, le mildiou et l'oidium. Conditions contrôlées versus vignoble	Univ. de Reims Champagne-Ardenne	Fabienne BAILLIEUL	III	2009	2012	DGER	205 182	Dger-A2PV Vigne
CORS'APHY	Evaluation de la régulation assurée par les espèces du genre Aphytis et d'autres auxiliaires indigènes sur les communautés de cochenilles diaspines dans les vergers d'agrumes	INRA	Philippe KREITER	III	2014	2016	FRB 13	21 691	Ecophyto
Cotation pour la résistance	Céréales à paille : affinement des méthodes de cotation pour la résistance variétale aux bioagresseurs et étude de l'évolution du niveau de résistance du catalogue français.	GEVES	Valérie CADOT	III	2012	2014	CAS SSV 12	50 000	MAAF/Casdar
CRUCIAL	Phénotypage de variétés de cultures intermédiaires multiservices pour réduire la pression de bioagresseurs. Crucifères utilisées comme culture intermédiaire monospécifique ou associées à des légumineuses pour une complémentarité de services écosystémiques	INP-EI Purpan	Lionel ALLETTO	III	2013	2016	CAS SSV 13	156 805	MAAF/Casdar

Cynips	:Cynips du châtaignier : mise en oeuvre et développement de la maîtrise de ce ravageur émergent par des moyens de contrôle biologiques	CTIFL	Bernard HENNION	III	2012	2014	CAS IP 11	212 191	MAAF/Casdar
D²BIOFRUITS	:Développement de méthodologies d'évaluation des pertes et étude de l'efficacité des procédés compatibles avec l'agriculture biologique pour désinfecter les fruits	CTIFL	Sébastien LUROL	III	2014	2016	CAS IP 13	318 206	MAAF/Casdar
DeciTrait	:Système expert opérationnel de la décision de traitement en viticulture	IFV	Alexandre DAVY	III	2015	2017	CAS RT 14	298 347	MAAF/Casdar
DEFILEG	:Développer la recherche pour rendre disponibles des substances efficaces à moindre impact (L'utilisation de stimulateurs de défenses naturelles des plantes en cultures légumières: le projet DEFILeg)	CTIFL	Marie TORRES	III	2010	2012	CAS IP 09	441 757	Ecophyto
Désherbage mécanique	:Optimiser et promouvoir le désherbage mécanique en grandes cultures et productions légumières	ITAB	Laurence FONTAINE	III	2009	2011	CAS IP 08	481 320	MAAF/Casdar
DI@GNOPHYT	:Diagnostic et stratégies de protection intégrée des cultures - Apport des TIC pour revisiter les relations entre porteurs du changement et agriculteurs - cas de la vigne et de la tomate	ACTA	Philippe DELVAL	III	2015	2017	CAS RT 14	288 549	MAAF/Casdar
DICABIO	:Valorisation des acides Dicaféoylquiniques et dicaféoyltartriques comme substances naturelles de Biocontrôle	INRA	Marie-Hélène SAUGE	III	2015	2018	PSPE2	110 658	Ecophyto
Échaudure des pommes	:Evaluation et mise au point de méthodes alternatives aux traitements chimiques après-récolte permettant de lutter contre l'échaudure de prématurité des pommes sans dégradation de la qualité	CTIFL	Vincent MATHIEU-HURTIGER	III	2011	2013	CAS IP 10	265 890	MAAF/Casdar
ECOPRO	:Évaluation des gains potentiels sur l'impact environnemental et la productivité agronomique d'une éco-biotechnologie alternative à des traitements phytosanitaires prescrits ou non spécifiques : cas de la bio-stimulation ciblant la virulence régulée par quorum-sensing lors de la culture de plants de pomme de terre	CNRS Gif-Sur-Yvette	Denis FAURE	III	2010	2013	Pestic 09	90 000	Ecophyto
ECOSPRAYVITI	:Développement des écotechnologies de la pulvérisation en viticulture	IFV	Sébastien CODIS	III	2011	2013	DGER	250 000	Ecophyto
EDGARR	:Exploitation de la sélection génomique afin d'accélérer la création de variétés résistantes et qualitatives pour la filière viticole rosé	IFV	Loïc LE CUNFF	III	2014	2017	CAS SSV 14	200 000	MAAF/Casdar
FERTIPRO FLEUR	:Utiliser la fertilisation pour agir sur la santé des plantes et favoriser leur protection	CTIFL	Christiane RAYNAL-LACROIX	III	2010	2012	CAS IP 09	462 550	MAAF/Casdar
HE	:Manipulation de la biodiversité floristique en grandes cultures	Université Rennes 1	Joan VAN BAAREN	III	2015	2018	PSPE2	141 748	Ecophyto
HE	:Evaluation de l'intérêt de l'utilisation des huiles essentielles dans des stratégies de protection des cultures	ITAB	Côme ISAMBERT	III	2013	2015	CAS IP 12	456 906	MAAF/Casdar
Horticulture de précision	:Développement d'outils d'aide à la décision en cultures horticoles sous serre : vers une horticulture de précision	ASTREDHOR	Fabien ROBERT	III	2011	2014	CAS RFI 11	295 043	MAAF/Casdar
INULA	:Evaluation des services écosystémiques et potentiels effets non-intentionnels liés à une plante méditerranéenne, l'inule visqueuse – Implication en protection intégrée sous serres et en oléiculture	INRA	Nicolas RIS	III	2012	2015	Pestic 11	130 500	Ecophyto
LIPOCONTROLE	:Recherche de nouveaux lipopeptides utilisables comme biopesticides, par criblage d'une collection de Pseudomonas	Université Lille 1	Philippe JACQUES	III	2015	2018	PSPE2	100 000	Ecophyto
MacroPlus	:Quelles techniques pour renforcer l'installation de Macrolophus pygmaeus ?	GRAB	Jérôme LAMBION	III	2015	2018	PSPE2	99 233	Ecophyto
MilPomBio	:Mildiou de la pomme de terre : recherche et maîtrise des produits de biocontrôle dans un schéma de protection intégrée des cultures	Vegenov	Marie TURNER	III	2015	2018	PSPE2	104 950	Ecophyto
MUSCARI	:Mélanges botaniques utiles aux systèmes de culture et auxiliaires permettant une réduction des insecticides	GRAB	Jean-Louis HEMPTINNE	III	2014	2017	CAS IP 14	440 481	MAAF/Casdar
NABUCO	:Nouveaux Agents Bio-marins Utilisables en COntôle biologique	Université d'Angers	Thomas GUILLEMETTE	III	2015	2018	PSPE2	99 521	Ecophyto
Nématodes laitue	:Recherche de résistances aux nématodes à galles chez la laitue	INRA	Brigitte MAISONNEUVE	III	2013	2016	CAS SSV 13	114 158	MAAF/Casdar
Nice Crops	:Bio-stimulateurs chitiniques naturels pour une agriculture durable	Université Paul Sabatier Toulouse	Guillaume BECARD	III	2015	2019	ANR PROD 14	767 839	ANR
Oïdium melon	:Caractérisation de la virulence de Podosphaera xanthii agent causal de l'oïdium du melon et développement d'un système de codification des races.	CLAUDE	Thierry JAUNET	III	2012	2015	CAS SSV 12	90 107	MAAF/Casdar
oléiculture faible niveau d'intrants	:Oléiculture à faible niveau d'intrants : acquisition de références techniques et structuration d'un réseau partagé de performances technico-économiques	GRAB (Avignon)	François WARLOP	III	2010	2012	CAS IP 09	173 090	MAAF/Casdar
OPTIBAN	:Lutte contre les cercosporioses du bananier aux Antilles françaises - Amélioration des techniques d'épandage par voie aérienne et recherche d'alternatives terrestres	IRSTEA	Dominique DIDELOT, Jean-Paul DOUZALS	III	2008	2011	DIVERS	500 000	DGAL
OPTIM'PHERO	:Optimiser les Phéromones et Transposer les résultats obtenus sur la processionnaire du pin à d'autres Insectes Modèles, lépidoptères ravageurs des Zones Non Agricoles. Solutions innovantes de biocontrôle pour d'autres lépidoptères	INRA	Jean-Claude MARTIN	III	2015	2018	PSPE2	98 393	Ecophyto
PEPS	:Évaluation et optimisation de l'utilisation de stimulateurs de défense des plantes (SDP) dans les stratégies de protection phytosanitaire en verger de pommier : PEPS - Fruits à pépins et stimulation des défenses	INRA	Marie-Nôelle BRISSET	III	2014	2017	CAS IP 14	333 338	MAAF/Casdar
PHERAFAB	:Associations colza-fabacées : efficacité et pertinence contre une adventice parasite majeure, l'orobanche rameuse	Univ. de Nantes	Philippe SIMIER	III	2013	2016	CAS SSV 13	93 790	MAAF/Casdar

PhyToel	Références et outils pour optimiser l'utilisation de phytosanitaires en systèmes de polyculture - élevages herbivores	IDELE	Philippe TRESCH	III	2014	2016	CAS IP 13	445 439	MAAF/Casdar
PraBioTel	Maîtrise des bioagresseurs telluriques par la gestion des systèmes de culture : utilisation de pratiques améliorantes en cultures légumières	CTIFL	Céline JANVIER	III	2009	2011	CAS IP 08	500 000	MAAF/Casdar
PRO-BIO-TAUPIN	Évaluation de solutions de biocontrôle pour la protection des cultures contre les dégâts de taupins	ARVALIS – Institut du Végétal	Jean-Baptiste THIBORD	III	2015	2017	PSPE2	113 891	Ecophyto
pulvérisation intelligente	Pulvérisation intelligente	Pellenc SA	Jean-Marc GIALIS	III	2008	2011	DGER	479 651	Dger-A2PV Vigne
R2B	Caractérisation de l'inoculum pathogène Rhizoctonia Solani, responsable du rhizoctone brun de la betterave (Beta vulgaris) et évaluation de la résistance/tolérance variétale	INRA	Christian STEINBERG	III	2013	2016	CAS SSV 13	150 000	Ecophyto
REPARE	Régulation Par les Araignées des Ravageurs en vergers	INRA	Pierre FRANCK	III	2014	2016	FRB 13	114 346	Ecophyto
RESGRAPE2	Vers l'exploitation d'une nouvelle source de résistance au mildiou et à l'oidium de la vigne.	INRA	Didier MERDINOGLU	III	2012	2015	CAS SSV 12	78 615	MAAF/Casdar
RÉSIBAC	Prediction de l'apparition du chancre bactérien (Pseudomona syringae) chez les arbres fruitiers ; preuve de concept	INRA	Jean-Marc AUDERGON	III	2013	2016	CAS SSV 13	110 146	MAAF/Casdar
Résistance TSWV piment	Alternatives durables à une résistance contournée : potentiel des résistances quantitatives au virus TSWV chez le piment	INRA	Alain PALLOIX, Benoît MOURY	III	2014	2017	CAS SSV 14	110 032	Ecophyto
ResistFol	Résistance durable aux maladies foliaires chez le blé dur : développement d'outils d'aide à la décision	GIE Blé dur	Henriette GOYEAU	III	2014	2017	CAS SSV 14	165 700	MAAF/Casdar
RESNAVI	Exploitation des résistances naturelles pour une viticulture à faibles intrants phytosanitaires	INRA	Christophe SCHNEIDER	III	2009	2012	DGER	336 000	Dger-A2PV Vigne
RhizoDia	Tests de régulation de populations de cochenilles diaspiques en culture de cassis par lâchers d'une coccinelle coccidiphage Rhizobius lophantae et transposition à d'autres cultures fruitières concernées par des cochenilles diaspiques	CTIFL	Marie-Cécile DALSTEIN	III	2015	2018	PSPE2	87 128	Ecophyto
ROSA FORTISSIMA	Maîtrise des maladies fongiques du feuillage des rosiers de jardin : vers une démarche de valorisation et labellisation des ressources génétiques économes en intrants phytosanitaires	ASTREDHOR	Mathilde MASSOT, Laetitia PORCHER, Florian BRYONE	III	2011	2013	CAS RFI 10	283 426	MAAF/Casdar
SERUM	Désinfection des sols en cultures maraîchères	Université François Rabelais de Tours	Ingrid ARNAULT	III	2015	2018	PSPE2	140 930	Ecophyto
SUZUCI	Développement d'une méthode de lutte biologique contre le ravageur de cultures Drosophila suzukii basée sur l'utilisation de bactéries symbiotiques manipulatrices de la reproduction	Univ. Lyon	Laurence MOUTON	III	2014	2016	FRB 13	149 552	Ecophyto
SYDERET	Conception et transfert de systèmes décisionnels pour une réduction des traitements phytosanitaires sur vigne	INRA	Denis THIERY	III	2008	2011	DGER	298 862	Dger-A2PV Vigne
SYSTEMYC	Conception de SYSTEmes de culture basés sur l'utilisation de la MYCOrhization pour le biocontrôle des bioagresseurs telluriques de la tomate	INRA	Marie CHAVE	III	2015	2018	PSPE2	99 297	Ecophyto
TABLE-RES	Analyse des résistances de créations variétales de raisin de table et pré-développement en vue de leur inscription	IFV	Loïc Le CUNFF	III	2012	2014	CAS SSV 12	127 581	Ecophyto
ticsad	Améliorer les pratiques des produits phytosanitaires en amenant les agriculteurs et les prestataires à utiliser des technologies innovantes en viticulture et en arboriculture (Les nouvelles technologies pour réduire les quantités de produits phytosanitaires et leurs impacts sur l'environnement)	CRA Languedoc-Roussillon	Christel CHEVRIER	III	2009	2011	CAS IP 08	223 060	MAAF/Casdar
TriPTIC	Trichogramma pour la protection des cultures : Pangénomique, Traits d'histoire de vie et Capacités d'établissement	Montpellier SupAgro	Jean-Yves RASPLUS	III	2015	2019	ANR PROD 14	150 000	Ecophyto
Triticum turgidum	Caractérisation d'une nouvelle source de résistance à la fusariose au sein de Triticum turgidum ssp. Développement d'outils d'aide à la sélection	GIE Blé Dur	Pierre ROUMET	III	2012	2015	CAS SSV 12	160 000	Ecophyto
TritiSafe	Caractérisation des champignons pathogènes responsables des nécroses foliaires du triticales et création d'idéotypes multi-résistants pour des semences de qualité et une agriculture durable	GIE Triticale	christophe JEUDI	III	2014	2017	CAS SSV 14	180 687	Ecophyto
TUTAPI	Mise en place d'une protection biologique contre Tuta absoluta, ravageur invasif de la tomate	ITAB	Elisabeth TABONE	III	2011	2013	CAS IP 10	473 359	MAAF/Casdar
USAGE	Utilisation de micro-doses de sucres en protection des plantes	Univ. François Rabelais de Tours	Ingrid ARNAULT	III	2012	2014	CAS IP 11	355 733	Ecophyto
VIRAPHID	VirAphid : comment utiliser les résistances des plantes pour gérer durablement l'évolution des virus et des pucerons ?	INRA	Nathalie BOISSOT	III	2011	2014	ANR SYS 10	859 986	ANR
Virus de la mosaïque	Amélioration de l'évaluation de la résistance de la courgette aux Cucumber mosaic virus (CMV), Zucchini yellow mosaic virus (ZYMV) et Watermelon mosaic virus (WMV).	GEVES	Valérie GRIMAUULT	III	2012	2015	CAS SSV 12	51 476	MAAF/Casdar
Xanthomonas	Phénotypage des interactions entre les espèces végétales et les Xanthomonas	INRA-IRHS	Tristan BOUREAU	III	2013	2016	CAS SSV 13	76 752	MAAF/Casdar
CORKYRES	Mise au point d'un test d'évaluation de la résistance des variétés de tomates aux corky root	GEVES	Valérie GRIMAUULT	IV	2013	2016	CAS SSV 13	53 490	MAAF/Casdar
GESTER	Gestion régionale des variétés résistantes	INRA	Christian LANNOU	IV	2012	2015	ANR AGRO 11	514 289	ANR

ICOSCOP	Intégration des nouvelles connaissances sur les interactions plantes-champignon pour développer des stratégies de gestion des résistances du colza au phoma	INRA	Marie-Hélène BALESDENT	IV	2012	2015	CAS SSV 12	160 000	Ecophyto
MDRisque	Évaluation du risque de la résistance multirégionale chez l'agent de la septoriose du blé <i>Mycosphaerella graminicola</i>	INRA	Anne-Sophie WALKER, Sabine FILLINGER	IV	2015	2018	Pestic 14	103 120	Ecophyto
Mosaïques de l'orge	Mosaïques de l'orge : identification des virus prédominants impactant sur le rendement et la qualité technologique, en vue d'orienter la sélection vers une résistance durable	GEVES	Valérie CADOT	IV	2013	2016	CAS SSV 13	210 000	MAAF/Casdar
Nématodes à galles	Comparaison expérimentale de stratégies de déploiement de gènes de résistance pour la gestion durable des nématodes à galles	INRA	Caroline DJIAN-CAPORALINO	IV	2008	2013	ANR SYS 08	935 441	ANR
NEMATOOLS	Développement d'outils pour la maîtrise durable du risque nématodes en plant de pomme de terre et cultures en rotation	FN3PT	Anne-Claire LE ROUX-NIO	IV	2015	2017	CAS RT 14	239 639	MAAF/Casdar
RESAUBER	Gestion durable des résistances génétiques à <i>R. solanacearum</i> chez l'aubergine (<i>Solanum melongena</i>)	CIRAD Réunion	Jacques DINTINGER	IV	2013	2016	CAS SSV 13	160 500	MAAF/Casdar
SeptoDUR	Contribution à la durabilité de la lutte génétique et chimique contre la septoriose du blé dur par la caractérisation des populations du complexe d'espèces responsable de cette maladie.	ARVALIS - Institut du végétal	Julie TOUSSAINT	IV	2012	2015	CAS SSV 12	116 970	MAAF/Casdar
VASCULEG	Maîtriser des maladies vasculaires telluriques en cultures maraîchères : comment préserver durablement l'efficacité du greffage et des résistances variétales par l'intégration de techniques complémentaires ?	CTIFL	François VILLENEUVE	IV	2011	2013	CAS IP 10	414 264	MAAF/Casdar
ALTERPHYTO	Approches juridiques des protections alternatives contre les ennemis des cultures	Univ. Jean Moulin Lyon3	Philippe BILLET	V	2012	2014	Pestic 11	80 050	Ecophyto
AVERSIONRISK	Rôle de l'aversion au risque des agriculteurs dans l'utilisation des pesticides et implications pour la régulation	INRA	Douadia BOUGHERARA	V	2010	2013	Pestic 09	273 958	Ecophyto
CHANGER	Échanger sur le métier de conseiller : pour accompagner plus efficacement les agriculteurs dans le changement en productions végétales	CRA Normandie	Bertrand OMON	V	2013	2016	CAS IP 12	383 588	MAAF/Casdar
Conseillers demain	Conseillers demain : Accompagner les conseillers pour intégrer l'enjeu de réduction des produits phytosanitaires	CDA Eure-et-Loir	Michel BEZINE, Pierre SAVY, Olivia DAVID	V	2010	2012	CAS IP 09	474 520	MAAF/Casdar
DAS-REVI	Développement et appropriation sociotechnique des résistances variétales en viticulture durable	INRA	François HOCHEREAU	V	2015	2018	Pestic 14	134 868	Ecophyto
DIDACPHYTO	DIDACPHYTO	AgroSup Dijon	Paul OLRY	V	2013	2016	Pestic 11	78 520	Ecophyto
DYNRURABIO	DynRurABio : dynamiques de développement de l'agriculture biologique pour une écologisation des territoires	INRA	Marc TCHAMITCHIAN	V	2011	2014	ANR SYS 10	949 967	ANR
ECORESSOURCE	Évaluer la robustesse des performances de systèmes économes en produits phytosanitaires et faciliter leur compréhension	FRCIVAM Pays-de-Loire	Alexis DE MARGUERIE	V	2013	2015	CAS IP 12	454 703	MAAF/Casdar
PEPITES	Processus Ecologiques et Processus d'Innovation Technique et Sociale en Agriculture de Conservation	INRA	Stéphane de TOURDONNET	V	2009	2012	ANR SYS 08	1 041 015	ANR
PESTIMUTE-GEN	Intermédiation et transition : processus de généralisation et d'institutionnalisation d'expériences locales de réduction de pesticides	INRA	Marianne CERF	V	2013	2016	PSPE1	103 638	Ecophyto
PRUNUS	Réalités et perspectives de l'écologisation en arboriculture fruitière. Pour une approche intégrant conception variétale, redéfinition des pratiques culturales, et coordination au sein du système agri-alimentaire, à partir du cas des vergers d'abricotiers et pêchers	INRA	Claire LAMINE	V	2012	2015	Pestic 11	126 115	Ecophyto
PSYCHOPEST	Représentations sociales des pesticides et changements de pratiques chez les agriculteurs français	Univ. de Nîmes	Karine WEISS	V	2013	2015	Pestic 11	123 789	Ecophyto
RESYST	Résistance des SYStèmes agricoles Tropicaux à la réduction des pressions de pollution par les pesticides à l'échelle du bassin versant	CIRAD	Magalie LESUEUR JANNOYER	V	2015	2018	Pestic 14	106 276	Ecophyto
RODONTICIDES	Réduire l'usage des rodenticides dans les prairies par une compréhension des points de vues des agriculteurs et de leurs contraintes de système : élaboration d'une méthode anthropologique appliquée à la lutte contre le campagnol terrestre. (Réduire l'usage de la bromadiolone dans la lutte contre le campagnol terrestre : les enseignements d'une analyse agro-anthropologique)	Vet Agro Sup	Yves MICHELIN	V	2010	2012	Pestic 09	53 914	Ecophyto
COUD'POUCE	Comportement et Usage Des pesticides : POUr des Contrats Environnementaux innovants	Montpellier SupAgro	Sophie THOYER	VI	2012	2015	Pestic 11	87 155	Ecophyto
POPSY	Systèmes de Production en Grandes Cultures, Environnement, Politiques Publiques	INRA	Florence JACQUET	VI	2009	2012	ANR SYS 08	725 105	ANR
TRAJECTOIRES	Trajectoires familiales et utilisation des pesticides dans des territoires agricoles à enjeux	Univ.Aix-Marseille	Carole BARTHELEMY	VI	2015	2018	Pestic 14	89 991	Ecophyto
VINPEST	Une évaluation expérimentale des consentements à la réduction de l'utilisation des pesticides dans le vin	ESC Dijon	Angela SUTAN	VI	2010	2013	Pestic 09	80 000	MEDDE
ARPEGES	Analyse de Risque Pesticides pour la Gestion des Eaux de Surface	IRSTEA	Véronique GOUY	VII	2011	2012	ONEMA R&D	265 563	Ecophyto
CEPAG	Contamination des eaux de surface par les pesticides : évaluation de la part des apports gazeux aériens.	INRA	Carole BEDOS	VII	2011	2012	ONEMA R&D	54 966	Ecophyto
Chaîne pressions-impacts	Développement d'outils et d'indicateurs pour mieux évaluer et gérer la chaîne pressions-impacts des pesticides sur les eaux de surface	IRSTEA	Véronique GOUY	VII	2012	2014	ONEMA R&D	310 000	Ecophyto
Contaminations diffuses	Développement d'un modèle national pour l'évaluation des risques de contaminations diffuses des milieux aquatiques par les produits phytopharmaceutiques dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive cadre sur l'eau et de mesures de gestion nationale de certaines molécules	Footways	Gaëlle DERONZIER, Nicolas DOMANGE	VII	2011	2014	ONEMA R&D	358 800	Ecophyto

ECCOTER	Les mesures agro-environnementales à enjeu «Eau/Pesticides» : Evaluation environnementale et économique de l'impact de modifications de pratiques agricoles par modélisation intégrée à partir de scénarios d'évolution	IRSTEA	Sylvain ROUSSET, Françoise VERNIER	VII	2010	2013	Pestic 09	145 650	Ecophyto
ECOPEST	Evaluation et comparaison des performances de systèmes de culture innovants conçus pour réduire l'usage des pesticides : lien entre pratiques, pressions et impacts	INRA	Laure MAMY	VII	2013	2016	Pestic 11	84 318	Ecophyto
EQUIPE	Evaluation de la Qualité prédictive d'Indicateurs Pesticides et du domaine d'utilisation	INRA	Christian BOCKSTALLER	VII	2013	2015	PSPE1	95 684	Ecophyto
GUIDE	Démarche méthodologique pour une utilisation pertinente des indicateurs relatifs aux produits phytosanitaires	INRA	Christian BOCKSTALLER	VII	2011	2012	ONEMA R&D	40 500	Ecophyto
IMPEC	Développement d'indicateurs microbiens pour l'évaluation de l'impact des pesticides sur des fonctions écosystémiques terrestres et aquatiques	INRA	Fabrice MARTIN-LAURENT	VII	2012	2015	Pestic 11	80 164	Ecophyto
INDREGARB	Indicateurs biologiques d'impacts liés à la régulation naturelle des ravageurs en arboriculture fruitière	INRA	Claire LAVIGNE	VII	2013	2016	PSPE1	99 839	Ecophyto
M6P	Modélisation rétrospective et prospective des accidents de ponte chez la perdrix grise (Perdix perdix) en plaine de grande culture en relation avec l'usage agricole de produits phytopharmaceutiques	ONCFS	Elisabeth BRO, James DEVILLERS	VII	2012	2015	Pestic 11	76 164	Ecophyto
MODAPEX	Modélisation de la dispersion aérienne des pesticides et des niveaux d'exposition à l'échelle du paysage	INRA	Yves BRUNET	VII	2010	2013	Pestic 09	61 303	MEDDE
MYRI-AIDE	Etude de Myriophyllum comme bioindicateur de la qualité des eaux en zone agricole	CNRS Metz	Elisabeth GROSS	VII	2013	2015	ANSES EST 12	50 211	Ecophyto
PERFORM	Approches de modélisation pour l'évaluation et la comparaison des performances environnementales de systèmes de culture innovants conçus pour réduire l'usage des pesticides : intégration spatiale et temporelle, traitement des incertitudes	INRA	Laure MAMY	VII	2013	2016	PSPE1	107 248	Ecophyto
PLAGE 2	Conception et mise en oeuvre d'une plate-forme d'évaluation environnementale mettant à disposition des acteurs du monde agricole des outils et des indicateurs agri-environnementaux	Agro-Transfert RT	Marie-Béatrice GALAND	VII	2010	2012	CAS IP 09	321 944	Ecophyto
RESCAPE	Résistance des paysages agricoles aux transferts de pesticides dans les sols et les organismes vivants (RESistance of agricultural landSCAPEs to pesticide transfers in soils and living organisms)	INRA	Céline PELOSI	VII	2015	2018	Pestic 14	111 540	Ecophyto
SEBIOPAG-PHYTO	Niveaux de régulation biologique et d'usage de produits phytosanitaires le long d'un gradient de pratiques et de paysages : une analyse comparative à partir du réseau SEBIOPAG	INRA	Sandrine PETIT	VII	2014	2016	FRB 13	183 489	Ecophyto
TRAM	Gestion de la toxicité en zone Ramsar	IAMM	Philippe LE GRUSSE	VII	2010	2013	Pestic 09	124 508	Ecophyto
zones tampons	Amélioration de l'efficacité des zones tampons vis-à-vis des pesticides et influences de la biodégradation naturelle	INRA	Fabrice MARTIN-LAURENT	VII	2011	2012	ONEMA R&D	24 500	Ecophyto
AGRICAN	Etude de cohorte AGRiculture et CANcer: phase de suivi	Centre François Baclesse	Pierre LEBAILLY	VIII	2011	2013	ANSES EST 10	200 000	Ecophyto
AGRICOH	Exposition aux pesticides et risque de lymphome et de leucémie au sein du consortium d'études AGRICOH : analyse combinée	Centre international de recherche contre le cancer (Lyon)	Maria LEON-ROUX	VIII	2012	2014	ANSES EST 11	87 984	Ecophyto
EPICEE	Exposition aux pesticides individuels ou en combinaison, évaluation des biomarqueurs (Caractérisation de l'impact d'une exposition alimentaire aux pesticides seuls ou en mélange chez la souris)	INRA	Laurence GAMET-PAYRASTRE	VIII	2009	2012	ANSES EST 09	94 708	ANSES
EVEXPE	Evaluation de l'Exposition chronique aux Pesticides : performances et optimisation des dosages sur urine et sur cheveux	CRP Santé Healthnet (Luxembourg)	Brice APPENZELLER	VIII	2011	2013	ANSES EST 10	187 074	Ecophyto
MEPIMEX	Multi-exposition de l'homme aux pesticides : évaluation des interactions métaboliques et xéno-hormonales in vitro	INRA	Roger RAHMANI	VIII	2011	2014	ANSES EST 10	196 528	Ecophyto
PESTIMPACT	Evaluation de nouveaux biomarqueurs indicatifs de la génotoxicité des pesticides chez les agriculteurs	INRA	Marc AUDEBERT	VIII	2010	2012	ANSES EST 10	40 000	ANSES
PHYTONER	Troubles neuro-comportementaux et pesticides: suivi à 12 ans de la cohorte PHYTONER	Univ. Victor Segalen Bordeaux 2	Isabelle BALDI	VIII	2008	2011	ANSES EST 08	100 000	ANSES
POPEYE	Exposition aux pesticides dans la cohorte mères-enfants Elfe et Issues de grossesse	INSERM	Cécile CHEVRIER	VIII	2014	2016	ANSES EST 13	199 762	Ecophyto
Respi enfant	Exposition aux pesticides et santé respiratoire et allergique de l'enfant en milieu rural	Univ. Victor Segalen Bordeaux 2	Chantal RAHERISON	VIII	2009	2012	ANSES EST 09	56 460	ANSES
SOCIOAGRIPEST	Pesticides et santé des travailleurs agricoles : entre mise en visibilité et invisibilisation	INRA	Nathalie JAS	VIII	2013	2016	ANSES EST 12	197 392	Ecophyto

ANR AGRO 11
ANR PROD 14
ANR SYS 08
ANSES EST 08

ANR AGROBIOSPHERE 2011
ANR Productions durables 2014
ANR SYSTERRA 2008
ANSES Environnement Santé Travail 2008

CAS IP 08
CAS RFI 10
CAS RT 13
CAS SSV 12

CASDAR Innovation et Partenariat 2008
CASDAR Recherche Finalisée et Innovation 2010
CASDAR Recherche Technologique 2013
CASDAR Semences et sélection végétales 2012

FRB 13
GIS GC HP2E
ONEMA R&D
Pestic 09
PSPE1
PSPE2
Fondation pour la recherche sur la biodiversité 2013
GIS Grandes cultures - Hautes Performances Economiques et Environnementales
ONEMA programme de Recherche et Développement
Programme Pesticides 2009
Pour et Sur le Plan Ecophyto 1 (dispositifs du plan Ecophyto)
Pour et Sur le Plan Ecophyto 2 (essor du biocontrôle)



Date de parution : 13 octobre 2015 • Contacts : Laure Dreux (INRA) : laure.elliott-smith@grignon.inra.fr • Gérard Gautier-Hamon (Ministère chargé de l'agriculture) : gerard.gautier-hamon@agriculture.gouv.fr • Imprimeur : BiPrint • Maquette : m.factory