

# **Compte-rendu du séminaire conjoint INRA/CIRAD sur la Protection Intégrée des Cultures**

Action-clé IPM-Net du métaprogramme SMACH (réseau Protection Intégrée des Cultures)

## **Organisation**

INRA : Jean-Noël Aubertot, Vincent Faloya, Vincent Cellier, Violaine Deytieux

CIRAD : Jean-Louis Sarah, Alain Ratnadass

Pour la première fois, un séminaire conjoint INRA/CIRAD spécifique à la Protection Intégrée des Cultures (PIC) s'est tenu les 4, 5, 6 février 2013 à Paris. Il s'agissait de concrétiser les échanges entre les deux instituts sur le thème, suite à l'ouverture du réseau PIC aux agents du CIRAD au printemps 2012. Les objectifs de cette rencontre étaient de s'informer mutuellement des travaux en cours, de partager au niveau méthodologique et, si possible, d'identifier des collaborations potentielles sur des questions relatives à la protection des cultures. Près de 80 participants ont pu échanger lors de 4 sessions d'une demi-journée sur chacun des quatre axes du réseau : i) modélisation, ii) expérimentations systèmes, iii) apports des sciences économiques et sociales, iv) méthodes et concepts issus de l'écologie. De plus, trois ateliers conduits en parallèle ont permis de réfléchir de manière collective sur les thèmes suivants : i) adaptation des stratégies de protection des cultures au changement climatique ; ii) utilisation durable des pesticides ; iii) gestion des bioagresseurs par une adaptation de l'architecture du couvert.

Les principales conclusions de ce séminaire sont présentées ici, selon les 4 axes d'animation du réseau PIC.

## **Modélisation**

Si les objets d'étude sont très différents, les méthodes mises en œuvre sont partagées et la modélisation est certainement une des activités les plus propices à la mise en place de collaborations entre les deux instituts. Une manière simple pour prolonger les échanges sur ces travaux peut être d'utiliser l'outil interactif Modèle-PIC, disponible sur le site du réseau PIC, afin de disposer d'une cartographie des activités sur ces thèmes à l'INRA et au CIRAD. De plus, les plateformes de modélisation développées par les deux instituts ont été identifiées comme des passerelles méthodologiques permettant d'initier ou de renforcer des dynamiques conjointes sur ces approches.

## **Expérimentations systèmes**

Les approches expérimentales sont en revanche un peu plus différentes entre les deux instituts compte tenu de la faible pérennité des dispositifs du fait de l'instabilité de certains pays dans lesquels intervient le CIRAD. Les démarches participatives semblent être plus développées au CIRAD qu'à l'INRA dans ce domaine. A ce stade, s'il n'apparaît pas opportun de mutualiser les données acquises, les échanges méthodologiques sont à encourager (*e.g.* sur les traitements statistiques des essais ou le développement d'indicateurs de performances). Le partage des protocoles de caractérisation des dégâts causés par les bioagresseurs ou des populations des ennemis des cultures pourra s'intensifier au travers de la plateforme européenne QUANTIPEST dont l'accès est possible à partir du site internet du réseau PIC (login : endure, mot de passe : demo). Les difficultés de financement et de suivi d'essais de longue durée ont été mentionnées par les deux instituts. L'idée d'une réflexion sur des montages de projets communs pour solliciter des financements, peut-être dans le cadre d'Agreenium, a été évoquée.

### **Apports des sciences économiques et sociales**

Dans les deux instituts, les chercheurs des sciences économiques et sociales sont très sollicités. Les contextes socio-économiques que le CIRAD aborde sont beaucoup plus hétérogènes que ceux traités à l'INRA. La contribution de cette communauté scientifique est à mieux intégrer et soutenir tant les travaux qu'elle peut conduire sur l'évaluation des solutions proposées, la co-conception et l'appropriation des innovations, et la mise en œuvre de stratégies coordonnées à l'échelle d'un territoire ou d'une filière sont précieux.

### **Synergies entre agronomie et écologie**

Les participants au séminaire sont tous convaincus de l'intérêt des approches agroécologiques et des plus-values que l'on peut en tirer en mobilisant des concepts issus de différents champs de l'écologie pour la protection des cultures. Là encore, malgré les différences entre les terrains d'étude et les organismes étudiés par le CIRAD et l'INRA, les questions sont communes : comment mobiliser le concept de trait pour concevoir des systèmes de culture moins sensibles aux bioagresseurs ? Quels indicateurs de biodiversité développer ? Comment les développer ? Comment mettre au point des stratégies push-pull adaptées aux bioagresseurs visés dans une situation de production donnée ? Comment proposer des agencements spatiaux permettant de limiter les pressions biotiques ? La question de l'analyse des associations d'espèces végétales en vue de leur pilotage apparaît notamment comme fédératrice et peut constituer un support de questionnements et d'échanges méthodologiques prolifiques pour les deux instituts. Il existe un groupe de réflexion sur les associations et la diversité végétale à l'INRA. Ce groupe pourrait certainement contribuer aux échanges de manière significative.

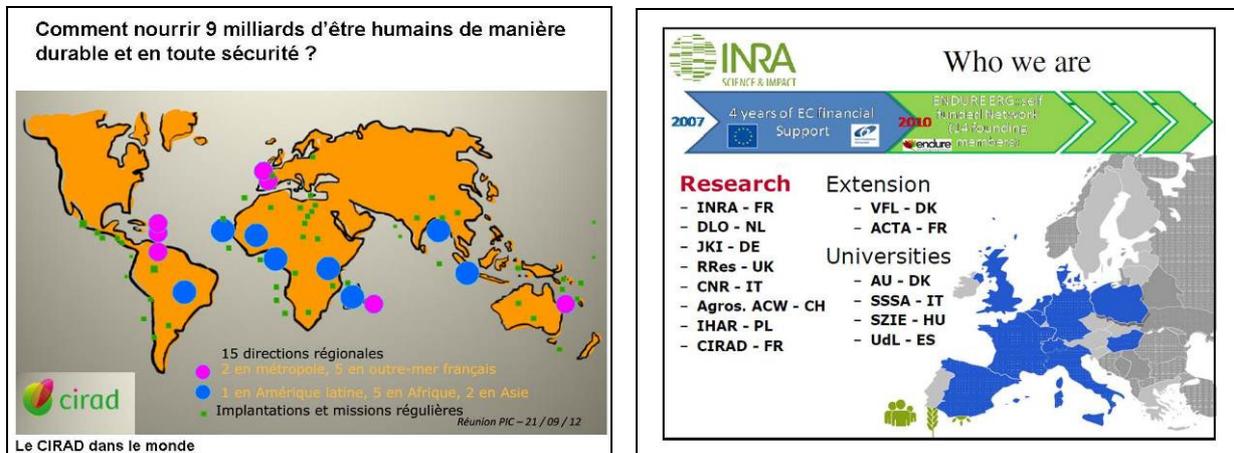
### **Eléments généraux**

Outre les présentations formelles, ce séminaire a permis aux participants d'échanger de manière informelle et décontractée. Ce climat amical a permis des échanges riches malgré la diversité des disciplines scientifiques représentées et des sujets traités. Il apparaît possible et souhaitable de rédiger un ouvrage de synthèse à partir des présentations réalisées au cours de ce séminaire puisque qu'un large éventail de questions et de méthodes a été abordé et qu'une valorisation dans un ouvrage commun permettrait de concrétiser encore un peu plus les échanges qui s'intensifient au sein des membres du réseau PIC. Pour aller au delà, la mutualisation méthodologique entre les deux instituts est à renforcer (*e.g.* partage de bases de données, accès à des plateformes de modélisation, à des plateformes expérimentales). Enfin, il semble important de réfléchir à une ouverture à l'international des activités du réseau, en s'appuyant notamment sur le Groupe de Recherche Européen ENDURE.

L'ensemble des présentations réalisées au cours du séminaire est disponible sur le site du réseau PIC : <http://www4.inra.fr/reseau-pic/Seminaires/Seminaire-Reseau-PIC-INRA-CIRAD> (supports visuels et enregistrements sonores, accès réservés aux membres de la liste PIC). Une description de ces différentes présentations est présentée ci-après afin de donner brièvement une vision globale des informations échangées durant le séminaire et de donner envie d'aller plus loin en lisant/écoutant les présentations sur le site du réseau.

## Exposés introductifs

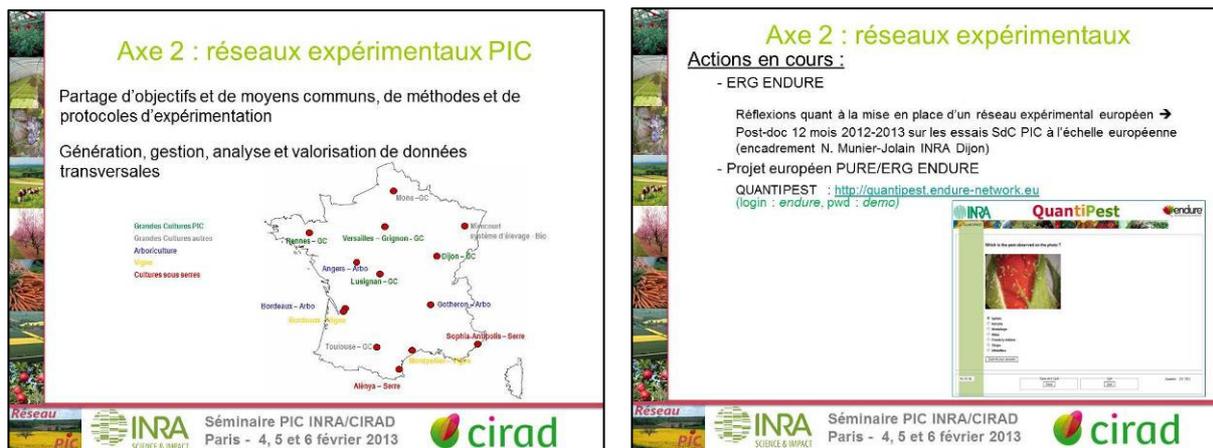
Les exposés introductifs ont permis de dresser un tableau des attentes sociétales, du contexte réglementaire, des dynamiques nationales et internationales, et en particulier des activités du réseau PIC INRA/CIRAD.



**Figure 1. Illustrations issues des exposés introductifs de Jean-Louis Sarah (CIRAD) et d'Antoine Messéan (INRA) sur les enjeux planétaires, l'implantation du CIRAD dans le monde et le Groupe Européen de Recherche ENDURE.**

Le défi majeur que doit relever la communauté scientifique, et en particulier celle traitant des problématiques relatives à la protection des cultures, est de proposer des solutions durables pour satisfaire aux besoins agricoles de la population mondiale (Figure 1), toujours en forte croissance, alors que les rendements et les surfaces agricoles stagnent. Au niveau européen, la législation sur le "paquet pesticides" est un élément de contexte fort donnant un cadre réglementaire à la protection des cultures. Un ERA-NET sur la Protection Intégrée des Cultures est en cours de construction. Se basant sur le Groupe Européen de Recherche ENDURE (Figure 1, <http://www.endure-network.eu/fr/>), ce réseau offrira une large gamme d'opportunités de collaborations à l'échelle européenne, à l'instar du projet européen PURE portant sur la réduction de l'utilisation des pesticides et des risques associés dans l'agriculture européenne (<http://www.pure-ipm.eu/>). Au niveau national, le plan ECOPHYTO apparaît comme un défi majeur auquel l'INRA et le CIRAD doivent contribuer. Le métaprogramme Sustainable Management of Crop Health (SMACH) est le principal instrument de l'INRA pour relever ces défis ([www.smach.inra.fr](http://www.smach.inra.fr)). Au sein de ce métaprogramme, le réseau PIC INRA/CIRAD (<http://www4.inra.fr/reseau-pic/>) joue un rôle particulier puisque qu'il fédère, depuis 2004, la communauté des chercheurs et ingénieurs de l'INRA, et de certains de ses partenaires, travaillant à la Protection Intégrée des Cultures. Depuis février 2012, les collègues du CIRAD ont rejoint le réseau de manière à partager les expériences et les méthodes, constituant ainsi un collectif de près de 300 membres.

Les activités du réseau PIC sont structurées en 4 axes : modélisation et outils de pilotage de la PIC, réseaux expérimentaux PIC (Figure 2), apports des sciences économiques et sociales, mobilisation de concepts et méthodes issus de l'écologie des communautés et du paysage. Les activités du réseau PIC s'appuient sur une liste de diffusion (<https://listes.inra.fr/sympa/info/reseau-pic>) et un site internet (<http://www4.inra.fr/reseau-pic/>) qui permettent de partager les principales ressources produites par le réseau. Le réseau organise des séminaires d'échanges spécifiques et porte des projets ayant trait à la protection des cultures.



**Figure 2. Illustrations issues des exposés introductifs de Jean-Noël Aubertot et Vincent Faloya (INRA) sur les activités du réseau PIC : implantation des essais systèmes de culture longue durée et la plateforme européenne QUANTIPEST développée par le réseau PIC dans le cadre du réseau d'excellence européen ENDURE pour fournir un appui méthodologique à la caractérisation des pressions biotiques au champ (login : endure; mot de passe : demo).**

Parmi les principales réalisations du réseau, on peut retenir :

#### *Animation scientifique*

- organisation de 15 séminaires scientifiques ou de coordination (liste exhaustive et supports disponibles sur le site du réseau)
- construction et participation à la coordination du projet REDUPEST sur l'identification des pressions biotiques les plus problématiques en grande culture et les solutions mobilisables pour les maîtriser (projet soutenu par le Groupe d'Intérêt Scientifique Grande Culture à Hautes Performances Economiques et Environnementales, [http://www.gchp2e.fr/gchp2e/actions\\_thematiques/protection\\_integree/redupest](http://www.gchp2e.fr/gchp2e/actions_thematiques/protection_integree/redupest), pilotage UMR Agronomie INRA-AgroParisTech)

#### *Modélisation*

- réalisation d'un outil interactif de veille sur les activités de modélisation pour la protection des cultures (Modèle-PIC, disponible en ligne sur le site du réseau),
- réalisation d'une étude de faisabilité du développement d'une base de données historiques sur les pressions biotiques à partir des documents produits par les Services Régionaux de la Protection des Végétaux, les Chambres d'Agriculture, voire d'Instituts Techniques (étude soutenue par le Groupe d'Intérêt Scientifique Grande Culture à Hautes Performances Economiques et Environnementales, [http://www.gchp2e.fr/gchp2e/actions\\_thematiques/protection\\_integree/developpement\\_et\\_de\\_la\\_valorisation\\_d\\_une\\_base\\_de\\_donnees\\_sur\\_les\\_pressions\\_biotiques](http://www.gchp2e.fr/gchp2e/actions_thematiques/protection_integree/developpement_et_de_la_valorisation_d_une_base_de_donnees_sur_les_pressions_biotiques))
- organisation d'une école chercheur internationale sur la modélisation pour la protection des cultures en janvier 2014 (action-clé MODEL du métaprogramme SMACH)
- contribution à l'étude préalable à la conception d'un modèle spatialement explicite simulant l'effet des systèmes de culture sur les pressions biotiques à l'échelle régionale (étude soutenue par le Groupe d'Intérêt Scientifique Grande Culture à Hautes Performances Economiques et Environnementales, [http://www.gchp2e.fr/gchp2e/actions\\_thematiques/protection\\_integree/epsimbior](http://www.gchp2e.fr/gchp2e/actions_thematiques/protection_integree/epsimbior), pilotage UMR Agronomie INRA-AgroParisTech)

### *Essais systèmes*

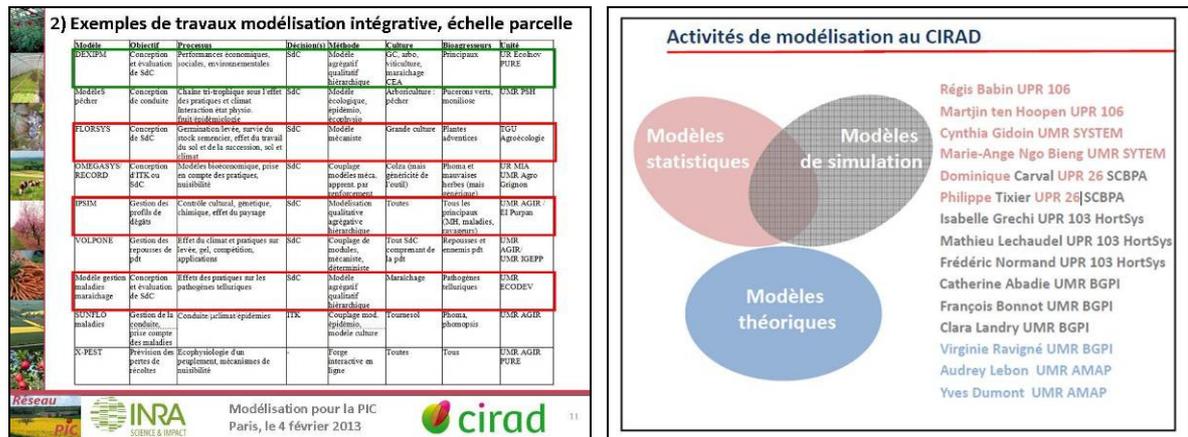
- mise en réseau d'essais systèmes de culture longue durée ayant trait à la PIC à l'INRA
- développement de la plateforme européenne QUANTIPEST, dans le cadre du réseau d'excellence européen ENDURE pour fournir un appui méthodologique à la caractérisation au champ des pressions biotiques (Figure 2, <http://quantipest.endure-network.eu>)
- développement de didacticiels au sein de la plateforme QUANTIPEST (Figure 2) afin de former les utilisateurs aux observations *in situ* (9 didacticiels sont actuellement disponibles sur la plateforme)
- contribution aux réflexions préalables à la mise en place de la plateforme d'analyse multicritère de la durabilité INRA (MEANS)
- valorisation de données acquises dans les réseaux expérimentaux SdC et production de connaissances sur les performances de SdC PIC et leurs déterminants (thèse de V. Deytieux, UMR Agroécologie Dijon)
- contribution aux réflexions quant à la mise en place d'un réseau expérimental européen dans le cadre du Groupe Européen de Recherche ENDURE

### *ECOPHYTO*

- participation à la rédaction d'un cahier des charges d'un système d'information dédié aux données issues des essais systèmes de culture : AGROSYST
- étude de préfiguration du dispositif DECIEcophyto
- étude de faisabilité et mise en place d'un réseau 0 pesticide, lauréat de l'Appel à Projets EXPE 2011
- coordination du projet CASIMIR (Développements méthodologiques pour une CARactérisation SIMplifiée des pressIons biotiques et des Régulations biologiques, lauréat de l'Appel à Projets 2012 Pour et Sur le plan ECOPHYTO)
- participation au projet VESPA (Valeur Et optimiSation des dispositifs d'éPidémiosurveillance dans une strAtégie durable de protection des cultures, lauréat de l'Appel à Projets 2012 Pour et Sur le plan ECOPHYTO, pilotage UMR Agroécologie Dijon)

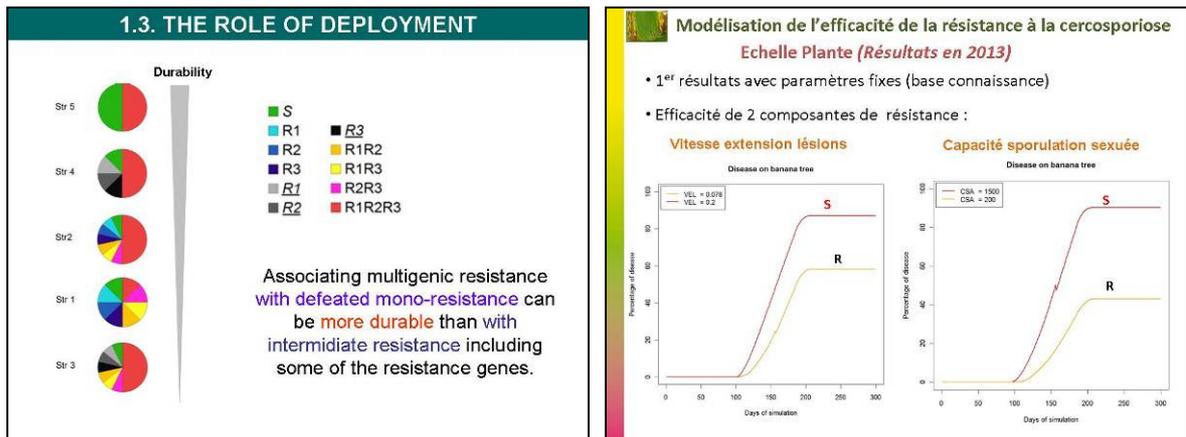
## Session "Modélisation" (animateur : Jean-Noël Aubertot, INRA)

La session a débuté par deux exposés brossant un panorama des activités de modélisation à l'INRA et au CIRAD (Figure 3). Puis, des focus ont été réalisés sur des thématiques particulièrement importantes : gestion durable des résistances variétales, évaluation et conception de systèmes de culture, architecture du couvert et pertes de récolte. Malgré la diversité des questions abordées et des méthodes utilisées, il apparaît que la modélisation est certainement l'une des activités permettant de concrétiser le plus facilement les collaborations entre les deux instituts. L'outil Modèle-PIC a été identifié comme un moyen facile à mettre en œuvre pour que les membres du réseau s'informent réciproquement des différents travaux de modélisation, en cours ou aboutis. La question de l'extension du réseau à l'échelle européenne a été évoquée, en mobilisant notamment le Groupe Européen de Recherche ENDURE et le projet européen PURE.



**Figure 3. Illustrations issues des exposés introductifs de Jean-Noël Aubertot (INRA), Dominique Carval et Isabelle Grechi (CIRAD) sur les travaux relatifs à la modélisation pour la protection des cultures. Exemples de travaux INRA selon une typologie à 3 niveaux : échelle du processus élémentaire, intégration à l'échelle de la parcelle, intégration à l'échelle du territoire. Typologie méthodologique pour les activités du CIRAD sur ce thème : modèles statistiques, modèles de simulation et modèles théoriques.**

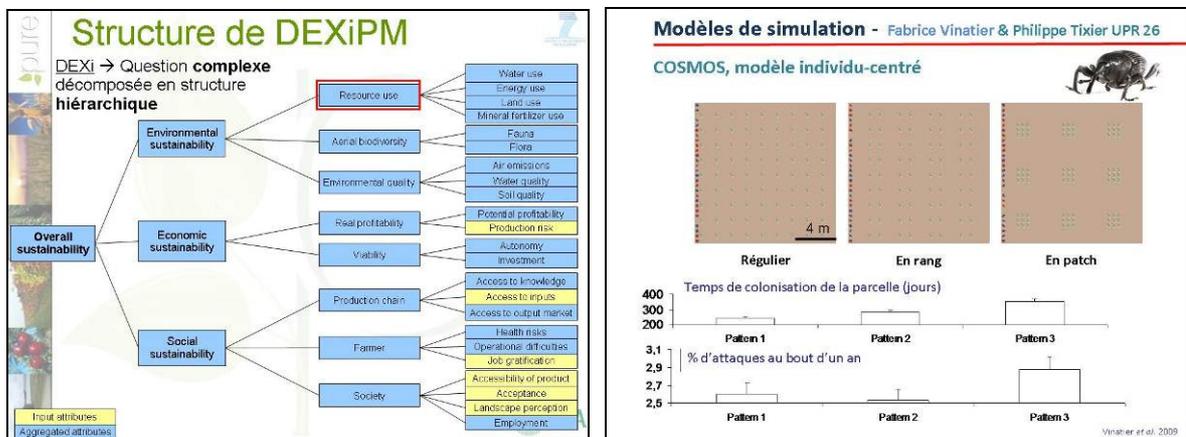
Des approches de modélisation ont été présentées afin de proposer des stratégies de gestion durable des résistances variétales. L'association de résistances quantitatives à des résistances spécifiques permet de préserver l'efficacité des résistances (Figure 4). La résistance du bananier à la cercosporiose peut être modélisée à l'aide de deux composantes de résistance : la vitesse d'extension des lésions et la capacité de sporulation sexuée (Figure 4).



**Figure 4. Illustrations issues des exposés de Natalia Sapoukhina (INRA) et de Catherine Abadie (CIRAD) sur la modélisation pour la gestion durable des résistances variétales.**

Le modèle DEXiPM a été présenté. Il permet une évaluation qualitative agrégative hiérarchique de la durabilité de systèmes de culture selon leurs performances sociales, environnementales, et économiques (Figure 5).

Des modèles ont été proposés pour décrire les effets de certaines pratiques sur la cercosporiose et le charançon du bananier. Un modèle individu centré, développé sous la plateforme COSMOS, a permis de montrer que le taux d'attaque des bananiers par le charançon après un an était plus faible pour une implantation en rang que pour des implantations régulières ou agrégées (Figure 5).



**Figure 5. Illustrations issues des exposés de Gabriele Fortino (INRA) et de Dominique Carval (CIRAD) sur la modélisation pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture.**

Les activités du réseau EpiArch ont été présentées (<http://ephytia.inra.fr/index.php?portail=Agrescience&produit=epiarch>). Ce réseau fédère des travaux à l'échelle nationale sur l'analyse des effets de l'architecture sur le développement des épidémies, l'identification des processus impliqués et la combinaison de l'architecture, la croissance, et la résistance de la plante pour limiter le développement des épidémies (Figure 6).

Un couplage entre le modèle architecturé Greenlab et un modèle épidémiologique à compartiment SIR (Susceptible/Infectious/Recovered, Figure 6) permet de comprendre

i) les mécanismes par lesquels l'architecture du caféier affecte la dispersion de l'antracnose des baies et ii) comment le pathogène affecte l'architecture de l'arbre.

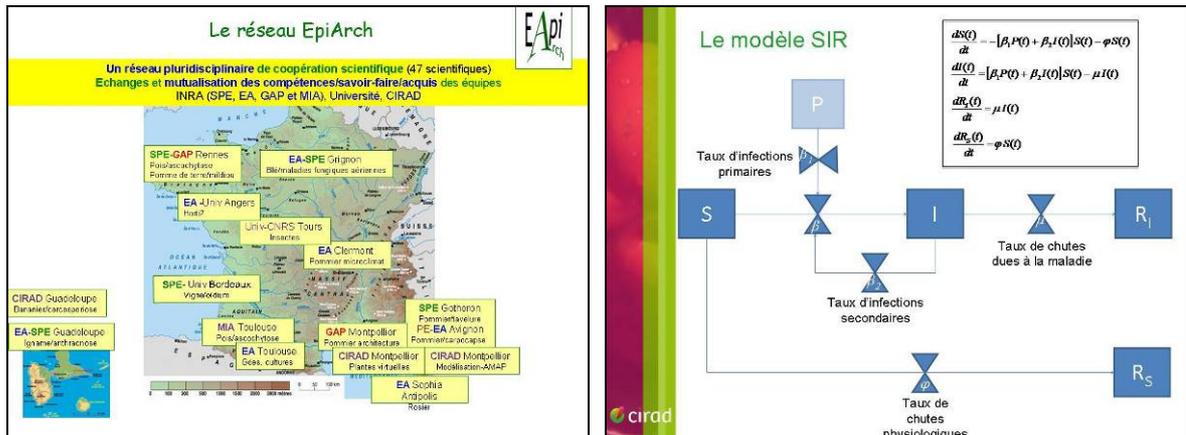


Figure 6. Illustrations issues des exposés d'Agnès Callonec (INRA) et de Natacha Motisi (CIRAD) sur la modélisation des effets de l'architecture du couvert sur les épidémies.

L'action-clé DAMAGE du métaprogramme SMACH est composée de 3 projets (sur caféier, vigne, arboriculture fruitière tempérée et tropicale) et d'un réseau international sur le blé. L'objectif de cette action-clé est de quantifier, analyser et interpréter les pertes des cultures par des projets multidisciplinaires et internationaux et de développer des approches nouvelles d'analyse des pertes de récolte. Des modèles couplant représentation écophysiological du peuplement et mécanismes de dommage seront mobilisés (Figure 7).

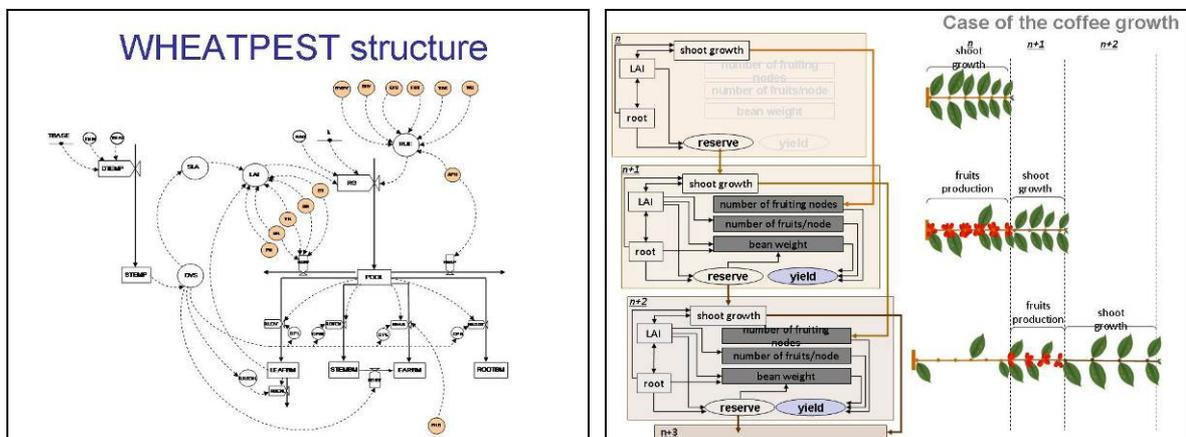
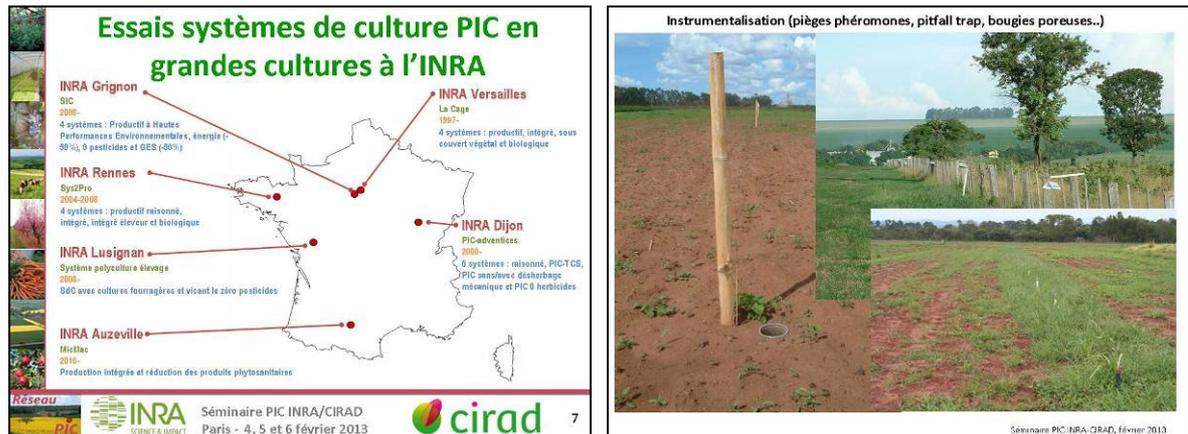


Figure 7. Illustrations issues des exposés de Serge Savary (INRA) et Alain Ratnadass (CIRAD) sur la modélisation des pertes de récolte, couplant représentation écophysiological du peuplement et mécanismes de dommage.

## Session "Expérimentations de systèmes de culture basés sur la Protection Intégrée des Cultures" (animateur : Nicolas Munier-Jolain, INRA)

La session a débuté par deux exposés brossant un panorama des activités d'expérimentation systémique à l'INRA et au CIRAD. Puis, des focus ont été réalisés sur des essais portant sur des cultures annuelles et des cultures pérennes. Les questions méthodologiques relatives aux essais systèmes sont partagées par les deux instituts, même si le CIRAD a souvent une approche de diagnostic ou d'expérimentation en parcelles agricoles plus développée que l'INRA qui privilégie les essais en station expérimentale.



**Figure 8. Illustrations issues des exposés de Violaine Deytieux et Vincent Cellier (INRA) et Pierre Silvie (CIRAD) sur des expérimentations systèmes basées sur la Protection Intégrée des Cultures. Implantation des essais systèmes de culture PIC à l'INRA et instrumentation d'une expérimentation système dans le Mato Grosso au Brésil où les performances de 4 systèmes en semis direct sous couverture végétale permanente sont comparées à celle d'un témoin en semis semi-direct et d'un témoin labouré.**

Une expérimentation système en culture maraîchère a été présentée. Elle a pour objectif d'évaluer des systèmes de culture maraîchers combinant contrôle génétique et cultural, ainsi que la lutte physique, biologique, culturale afin de maîtriser les nombreux bioagresseurs sous serre ou sous abri dans une large gamme de contextes socio-économiques (Figure 9). Le projet GAMOUR à la Réunion a permis de proposer des stratégies de gestion des mouches des cucurbitacées en se basant sur 5 leviers : i) l'utilisation d'augmentoria (isolement des fruits piqués de manière à interrompre le cycle de reproduction tout en préservant les parasitoïdes), ii) plantation de plantes pièges (maïs) en bordure de parcelle, avec des appâts insecticides homologués en agriculture biologique, iii) piégeage sexuel par phéromone sans insecticide, iv) lutte biologique de conservation et v) contrôle cultural et gestion agroécologique des habitats (Figure 9).



**Figure 9. Illustrations issues des exposés d'Amélie Lefèvre (INRA) et Jean-Philippe Deguine (CIRAD) sur, respectivement, une expérimentation système en cultures maraîchères métropolitaines et la gestion agroécologique de ravageurs des systèmes de culture maraîchers à la Réunion.**

Le réseau Rés0Pest, initié par le réseau PIC INRA/CIRAD et porté par l'UE INRA d'Époisses est un nouveau dispositif expérimental national comportant 8 essais systèmes conduits sans recours aux pesticides en grande culture (Figure 10). Il s'inscrit dans le réseau expérimental du dispositif DEPHY du plan ECOPHYTO.

Une expérimentation factorielle a permis d'identifier la stratégie d'échantillonnage la plus efficace pour déclencher des traitements insecticides pour lutter contre les ravageurs du cotonnier au Mali (Figure 10). De plus, des expérimentations ont permis d'analyser les effets de l'association de lutte chimique à des pratiques à visées prophylactiques : écimage, plantation à forte densité, stratégie pull (ligne de gombo), stratégie push (application d'extraits de neem).

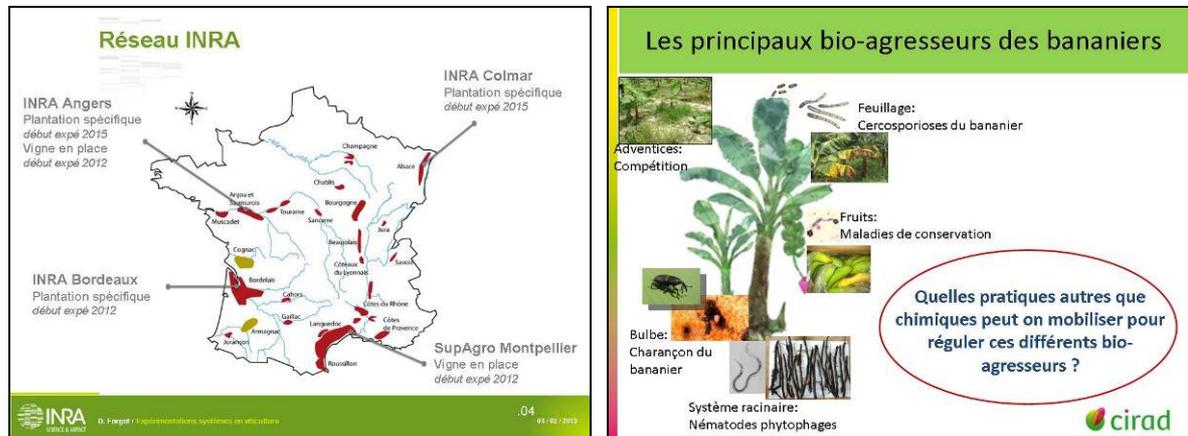


**Figure 10. Illustrations issues des exposés de Marie-Hélène Bernicot (INRA) et Alain Renou (CIRAD) sur, respectivement, Rés0Pest, un nouveau réseau expérimental de systèmes de culture sans pesticide en grande culture et le développement de stratégies de gestion des ravageurs du cotonnier au Mali.**

En vigne, l'INRA met en place de nouveaux travaux expérimentaux sur quatre grandes zones de vignoble (le Bordelais, le Languedoc Roussillon, l'Alsace, et la vallée de la Loire). Les principaux leviers mobilisés pour gérer les bioagresseurs de la vigne, principalement les agents pathogènes sont : l'optimisation de la lutte chimique raisonnée, la résistance

variétale, l'utilisation d'agents de biocontrôle, des techniques alternatives d'entretien du sol (enherbement), les techniques de taille (Figure 11).

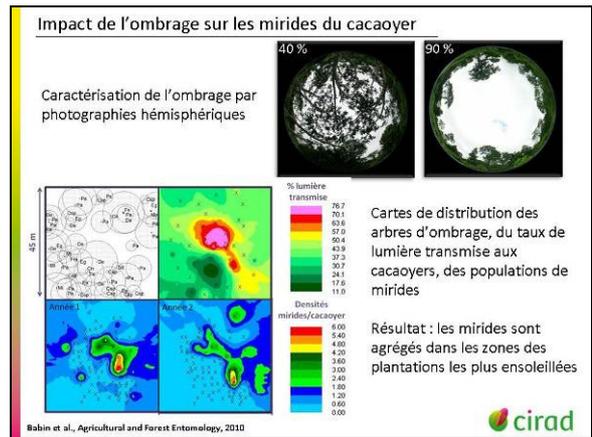
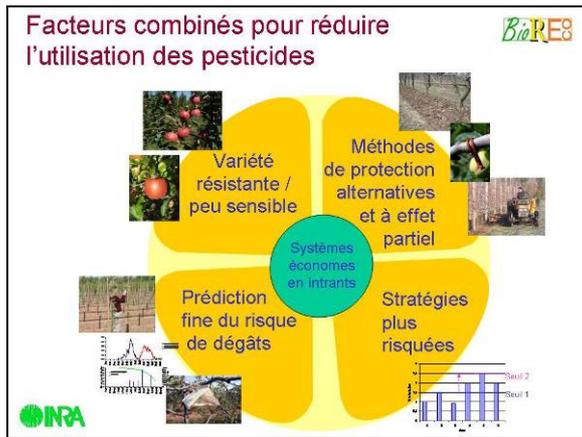
Dans le cas du bananier, le CIRAD a mis en place une plateforme participative aux Antilles. L'objectif de la démarche est de proposer des stratégies de gestion des bioagresseurs de la culture (cercosporioses, charançon, nématodes, adventices, et maladies de conservation) en augmentant la biodiversité (Figure 11).



**Figure 11. Illustrations issues des exposés de Dominique Forget (INRA) et Luc de Lapeyre (CIRAD) sur, respectivement, des expérimentations systèmes en viticulture et une plateforme participative sur des systèmes de culture bananiers aux Antilles.**

En arboriculture, l'INRA dispose de résultats intéressants quant à la réduction de l'utilisation des pesticides dans le cadre de l'expérimentation système BIORECO. Parmi les trois systèmes testés, le plus économe en intrants mobilise la résistance variétale, la prophylaxie (*e.g.* exportation des feuilles mortes, support d'inocula), une précision accrue sur les risques biotiques encourus en cours de saison (par des observations/captures et à l'aide de modèle), et le relèvement des seuils de traitements chimiques (Figure 12).

Dans les systèmes agroforestiers à base de caféiers et de cacaoyers, le CIRAD conduit des essais visant à comprendre les effets des interactions entre les pratiques agricoles et les conditions d'ombrage du couvert sur les dynamiques biotiques. La figure 12 illustre l'analyse ayant permis de conclure que les mirides du cacaoyer étaient agrégées dans les zones des plantations les plus ensoleillées.



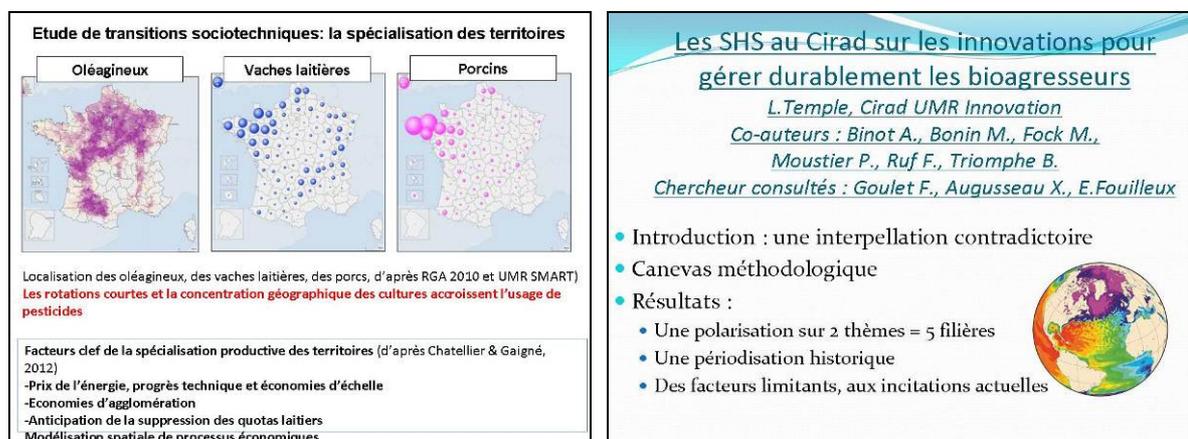
**Figure 12. Illustrations issues des exposés de Sylvaine Simon (INRA) et de Régis Babin (CIRAD) sur, respectivement, une expérimentation système en verger de pommiers et une approche expérimentale pour l'analyse des systèmes agroforestiers à base de cacaoiers et de caféiers.**

## Session "Apports des sciences économiques et sociales dans les stratégies de gestion durable de la santé des plantes" (animateur : Ludovic Temple, CIRAD)

Jean-Marc Meynard a tout d'abord présenté sa vision d'agronome sur la contribution des Sciences Economiques et Sociales de l'INRA à la gestion durable de la santé des plantes au travers des schémas stratégiques des départements Sciences pour l'Action et le Développement et Sciences Sociales, Agriculture & Alimentation, Espace & Environnement ; d'une analyse des réponses à l'enquête du métaprogramme SMACH et de sa propre expérience. Il a étayé sa présentation à l'aide de trois exemples : la conception d'outils d'aide à la décision, la construction collective de scénarios de gestion des systèmes agricoles au niveau de territoires et l'étude de transitions sociotechniques : la diversification des cultures (Figure 13). Ludovic Temple a ensuite dressé un tableau des activités en sciences économiques et sociales au CIRAD (Figure 13).

Deux problématiques apparemment contradictoires sont abordées par le CIRAD :

- la réduction d'usage de pesticides dans des filières intensives qui sont internationalisées (le coton en Afrique sub-saharienne avec une agriculture familiale intégrée ; le cacao, le café, la mangue en Indonésie et en Afrique avec une agriculture familiale marchande ; la banane et le palmier en Afrique où il s'agit d'agro-industries)
- l'augmentation des mesures de lutte y compris l'usage de pesticides pour mieux approvisionner les marchés locaux (maraîchage péri-urbain en Asie et en Afrique avec des agricultures familiales multifonctionnelles ; tubercules, céréales (maïs), plantain en Afrique en agriculture vivrière).



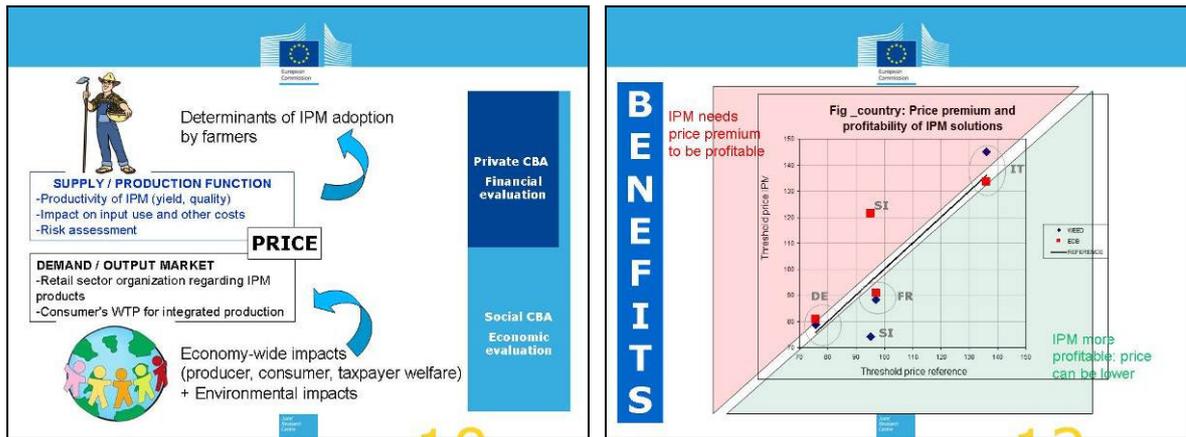
**Figure 13. Illustrations issues des exposés de Jean-Marc Meynard (INRA) et de Ludovic Temple (CIRAD) sur, respectivement, les travaux conduits en Sciences Economiques et Sociales à l'INRA (exemple d'une analyse de la spécialisation des territoires) et au CIRAD.**

L'action LOCKIN du métaprogramme SMACH vise à identifier les verrous sociotechniques limitant la gestion intégrée de la santé des plantes et à proposer des solutions pour y remédier (Figure 14). Elle vise à étudier les modalités sociales et organisationnelles de ces solutions, à proposer des méthodes permettant l'émergence d'innovations organisationnelles et de techniques alternatives (tel que le nécessiterait par exemple, une coordination entre voisins pour une gestion à l'échelle d'un parcellaire), à identifier et caractériser des trajectoires de transition mises en place par les acteurs pour lever les verrous.



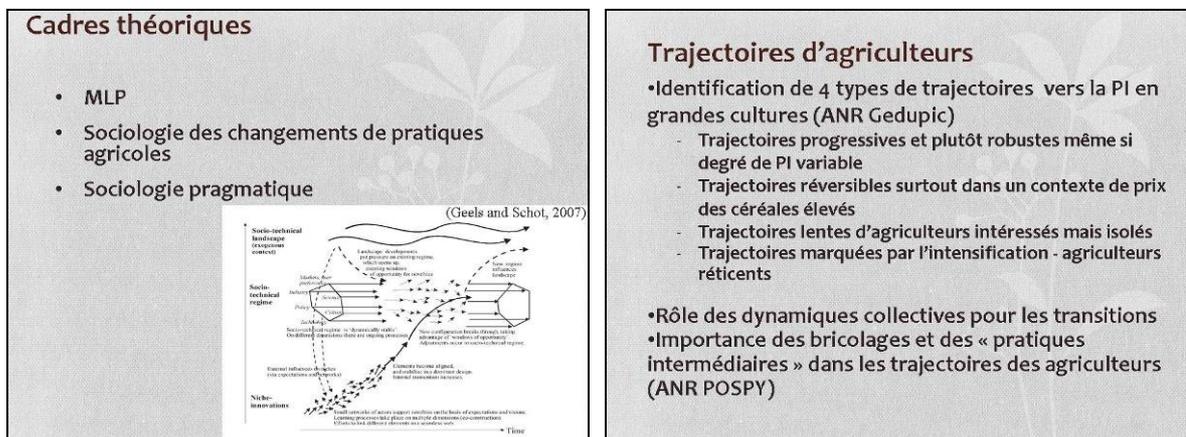
**Figure 14. Illustrations issues de l'exposé de François Coléno (INRA) sur l'action-clé LOCK-IN du métaprogramme SMACH. Exemple de la machine à écrire dont la disposition initiale avait été conçue pour réduire la vitesse de frappe afin d'éviter le blocage des percuteurs, et dont l'amélioration n'a pu être diffusée à cause d'un verrouillage technologique. Description d'une démarche permettant d'élaborer des plans d'action pour améliorer la qualité de l'eau à l'échelle d'une aire d'alimentation de captage.**

Les analyses coûts-bénéfices peuvent permettre de comprendre les conditions d'adoption de nouvelles stratégies de protection des cultures. L'analyse de rentabilité au niveau du producteur peut être complétée par une analyse plus globale, incluant les coûts et bénéfices de ces nouvelles stratégies pour la société, *e.g.* impacts sur la santé des consommateurs, sur l'environnement (Figure 15). Dans certaines situations (résultats issus du projet européen PURE), les systèmes limitant le recours aux pesticides et reposant sur des stratégies de protection intégrée sont plus coûteux et nécessitent que la production soit mieux valorisée sur le marché pour être rentable (Figure 15). La connaissance de la propension des consommateurs à payer pour des produits issus de systèmes agricoles en protection intégrée est donc un déterminant important de mise en place de systèmes de culture basés sur la protection intégrée. Une étude pour caractériser l'effet du type d'information donnée sur ce qu'est la protection intégrée sur la propension à payer des consommateurs est en cours dans le cadre du projet européen PURE.



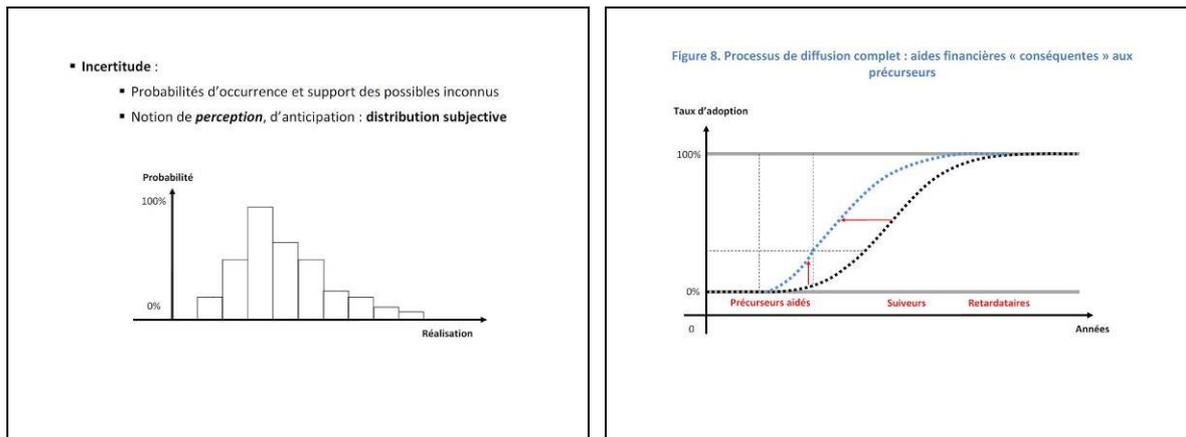
**Figure 15. Illustrations issues de l'exposé de Marianne Lefèvre (JRC-IPTS) sur les analyses coûts-bénéfices de systèmes faisant appel à des stratégies de protection intégrée.**

L'analyse des déterminants de dynamiques collectives de transitions peut permettre d'identifier des modalités d'accompagnement à des changements innovants. Pour ce faire, des cadres théoriques sociologiques peuvent être mobilisés (Figure 16). Les transitions peuvent être analysées à l'échelle de l'agriculteur (concept de trajectoire), de la filière, ou du territoire. Ainsi, une typologie de quatre trajectoires d'agriculteurs a été proposée en grande culture : trajectoires progressives, réversibles, lentes et réticentes (Figure 16). Ces analyses sociologiques permettent d'identifier un certain nombre de solutions pour accompagner les transitions vers des systèmes basés sur la Protection Intégrée des Cultures à l'échelle des territoires, des filières et des agriculteurs.



**Figure 16. Illustrations issues de l'exposé d'Aurélié Cardona (INRA) sur l'analyse des dynamiques collectives de transition.**

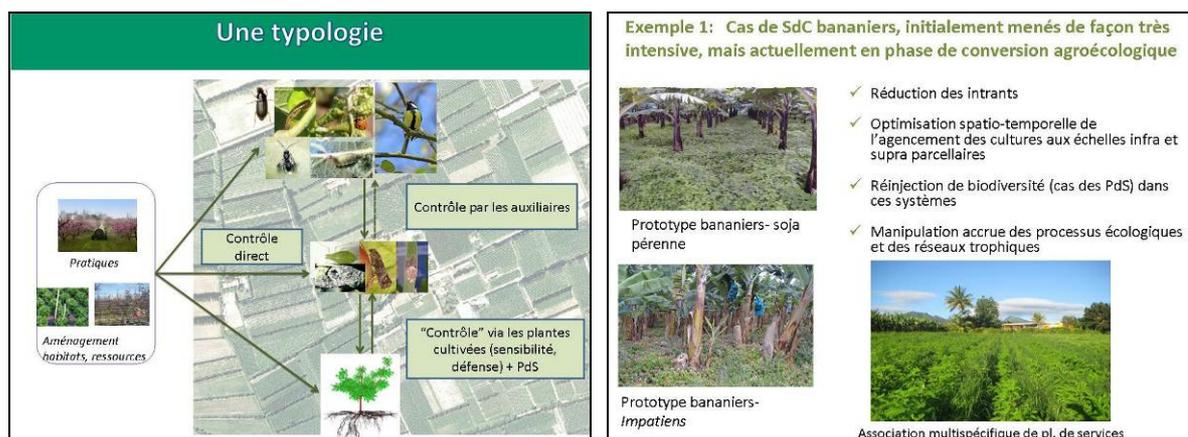
De plus, les décisions d'adoption de pratiques innovantes telles que l'utilisation de stratégies de protection intégrée des cultures dépendent des risques et des incertitudes perçues, ainsi que d'éventuelles incitations économiques (Figure 17). Des analyses micro-économiques peuvent permettre de comprendre les mécanismes sous-jacents aux décisions des agriculteurs, et ainsi d'éclairer des prises de décisions dans l'incertain et l'impact d'incitations économiques que les pouvoirs publics pourraient mettre en place.



**Figure 17. Illustrations issues de l'exposé d'Alain Carpentier (INRA) sur la gestion des incertitudes dans les stratégies de Protection Intégrée des Cultures.**

## Session "Synergies entre agronomie et écologie" (animateur : Alain Ratnadass, CIRAD)

La transition agroécologique attendue des systèmes de production agricole suppose un renouvellement des méthodes et des concepts des agronomes pour concevoir des systèmes durables. Pour ce faire, l'INRA et le CIRAD mobilisent une large gamme d'approches issues de différents champs disciplinaires (*e.g.* écologie des communautés, écologie fonctionnelle, écologie du paysage, écologie chimique, sciences sociales,), à différentes échelles. Les priorités en termes de l'agroécologie pour l'action du département Sciences pour l'Action et le Développement de l'INRA ont été présentées, ainsi qu'une typologie des travaux conduits sur les régulations biologiques à l'échelle de la parcelle (système de culture) et du territoire (aménagement paysagers) : contrôle via les plantes cultivées (résistance, statuts hydrique et minéral, plante de service), contrôles par des auxiliaires, contrôle direct (Figure 18). Différents exemples ont été présentés au sein de deux thèmes fédérateurs à l'INRA : les associations végétales et les mosaïques paysagères. Le métaprogramme INRA ECOSERV, sur les pratiques et services des écosystèmes anthropisés et porté par le département Environnement et Agronomie fera fortement appel aux synergies entre agronomie et écologie. Les activités relevant des synergies entre agronomie et écologie concernent 6 axes du CIRAD. De fait, l'intensification écologique concerne une grande diversité de systèmes de production au CIRAD. Deux études de cas ont été détaillées. La première concernait les systèmes de culture à base de bananiers en voie de conversion écologique aux Antilles (Figure 18) et visait à illustrer les approches méthodologiques utilisées, le type de résultats générés, et les perspectives associées (zoom sur la dynamique et l'épidémiologie spatiales du charançon du bananier en lien avec l'organisation du paysage à l'échelle parcellaire). Le second portait sur les systèmes horticoles de culture fruitière en Afrique de l'Ouest et visait à illustrer une problématique à un grain plus fin, et dégager les questions de recherche associées (zoom sur le réseau trophique impliquant la mouche des fruits et les fourmis oecophylles dans les agrosystèmes à base de manguiers du Bénin).



**Figure 18. Illustrations issues des exposés de Françoise Lescourret et Jean-Noël Aubertot (INRA) et Jean-Michel Risède (CIRAD) sur, respectivement les synergies entre agronomie et écologie pour les régulations des bioagresseurs à l'INRA et au CIRAD.**

Parmi les approches agroécologiques, les stratégies de répulsion/attraction ("push-pull" en anglais) permettent de limiter les dégâts engendrés par un certain nombre de ravageurs. Les

composés volatils issus des premières relations entre les plantes et les insectes sont des déterminants importants des interactions suivantes (Figure 19). Ces composés volatils peuvent donc être utilisés pour maîtriser les dégâts d'un certain nombre de ravageurs au travers de 3 stratégies : l'application de composés de synthèse, la manipulation génétique des plantes et la mise en place de stratégies push-pull.

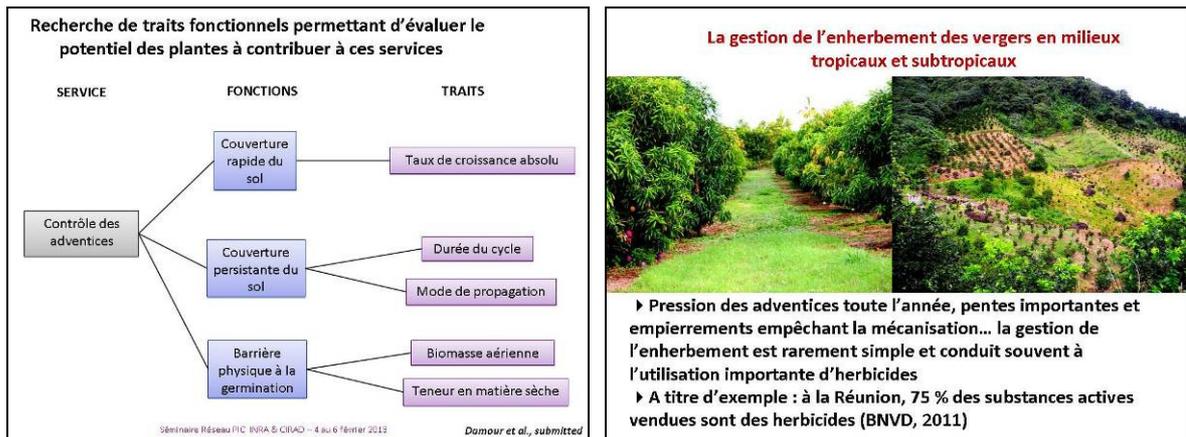
Trois exemples de travaux conduits par le CIRAD mobilisant une stratégie push-pull ont été présentés (Figure 19) : l'analyse des effets du Spinosad sur les mouches des fruits dans des systèmes agroforestiers de zone sahélienne ; la gestion de la noctuelle *Helicoverpa armigera* sur gombo par plantes pièges ; et la gestion agroécologique de la noctuelle de la tomate *Helicoverpa zea* en utilisant le maïs comme plante piège.



**Figure 19. Illustrations issues des exposés d'Anne-Marie Cortesero (Université de Rennes) et Alain Ratnadass (CIRAD) sur l'écologie chimique et les stratégies "push-pull" pour gérer les ravageurs des cultures.**

Le concept de trait fonctionnel est mobilisé par les deux instituts pour concevoir des stratégies de gestion des communautés adventices. Un exposé commun aux deux instituts a d'ailleurs été présenté (Figure 20). Les effets du paysage, de variables biotiques et abiotiques et du système de culture constituent autant de filtres sélectionnant les espèces adventices dans une parcelle donnée en fonction des valeurs de certains de leurs traits. Le concept de trait peut dès lors être utilisé pour comprendre les évolutions des communautés adventices à l'échelle du territoire national métropolitain (travaux INRA) et contribuer à concevoir des systèmes de culture durables.

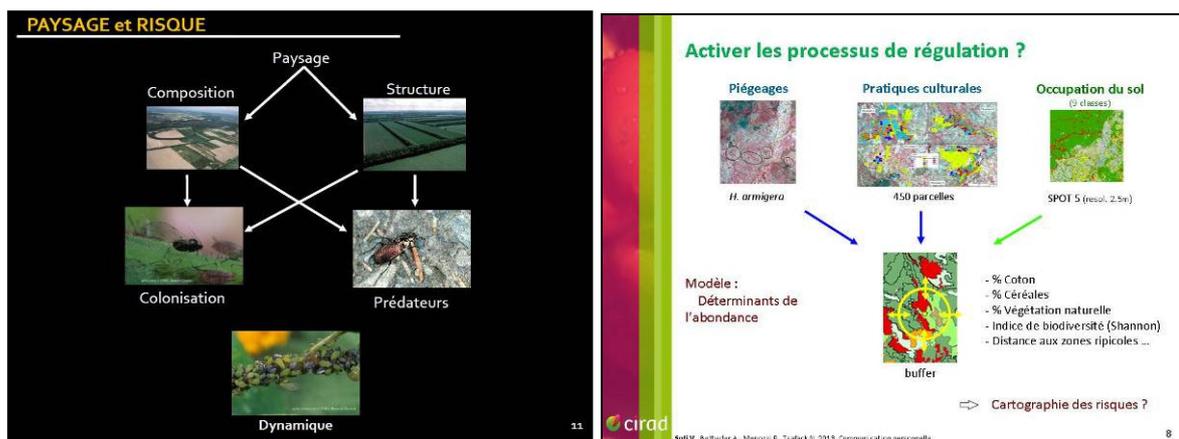
En zones tropicales, le concept de trait fonctionnel est mobilisé pour évaluer le potentiel de certaines espèces à jouer le rôle de plante de service produisant un certain nombre de services écosystémiques dans des systèmes bananiers (travaux du CIRAD, Figure 20). Le CIRAD développe un outil d'aide à la décision basé sur les traits fonctionnels des plantes afin de mieux maîtriser à la fois plantes adventices et ravageurs. Une méthode de (re)conception et d'évaluation multicritère participative des systèmes de culture est proposée pour gérer l'enherbement des vergers en milieux tropicaux et subtropicaux (Figure 20).



**Figure 20. Illustrations issues des exposés de Sabrina Gaba (INRA) et Gaëlle Damour (CIRAD) et de Fabrice Le Bellec (CIRAD) sur les apports des approches mobilisant le concept de trait fonctionnel pour maîtriser les communautés adventices.**

Compte tenu de la capacité de dispersion de certains organismes (bioagresseurs et auxiliaires), l'écologie du paysage fournit un certain nombre de méthodes et de concepts mobilisables pour la conception de stratégies de protection intégrée des cultures. L'écologie du paysage s'intéresse à la composition, l'organisation spatiale, la dynamique des structures paysagères et à leurs conséquences sur les processus écologiques (Figure 21). Elle permet l'analyse du fonctionnement de populations fragmentées, des processus de dispersion et fait appel à la théorie de la perturbation. Des cartographies de risque peuvent être réalisées à partir de variables paysagères pertinentes quant aux processus biotiques (Figure 21). Des simulations peuvent alors être réalisées pour représenter les effets de différents scénarios d'aménagement paysagers sur des dynamiques populationnelles de ravageurs.

Dans une étude de cas portant sur la gestion de ravageurs du cotonnier au Mali, le CIRAD mobilise des concepts et des méthodes issus de l'écologie de paysage pour réduire les externalités négatives, activer les processus écologiques et les services de régulation, et appréhender la complexité sociale et écologique.



**Figure 21. Illustrations issues des présentations de Manuel Plantegenest (Agrocampus-Ouest, exposé non présenté en séance) et Pascal Clouvel (CIRAD) sur les méthodes et concepts issus de l'écologie du paysage.**

Les indicateurs de biodiversité peuvent être vus à la fois comme des indicateurs de l'impact environnemental des systèmes de culture, et comme une caractérisation de la situation de production permettant d'identifier des leviers d'action pour contrôler les populations de bioagresseurs. Il existe une chaîne causale, appelée chaîne EPFS (Entités biologiques → Processus écologiques → Fonction écologique → Services écosystémiques), qui permet d'identifier les indicateurs pertinents. Cette chaîne est multifonctionnelle et multifactorielle. Un indicateur d'une entité biologique peut caractériser plusieurs services écosystémiques et plusieurs indicateurs des entités biologiques peuvent être nécessaires pour caractériser un seul service écosystémique. Des indicateurs de biodiversité peuvent être corrélés au nombre d'habitats par exploitation (Figure 22).

Le développement d'indicateurs de biodiversité entomologique est une activité récente au CIRAD. Trois exemples de travaux réalisés en Afrique de l'Ouest ont été illustrés : analyse des densités des populations de *Nymphalidae* (Lepidoptera) et *Cetoniidae* (Coleoptera) le long de gradients d'anthropisation dans i) le parc du W, ii) dans le sud-ouest du Burkina Faso (Figure 22) ; iii) écologie des communautés de *Myrmeleontidae* et *Ascalaphidae* (Neuroptera) au Mali et au Burkina Faso. Les premiers résultats montrent que les assemblages d'espèces varient selon les biotopes et la pression anthropique.

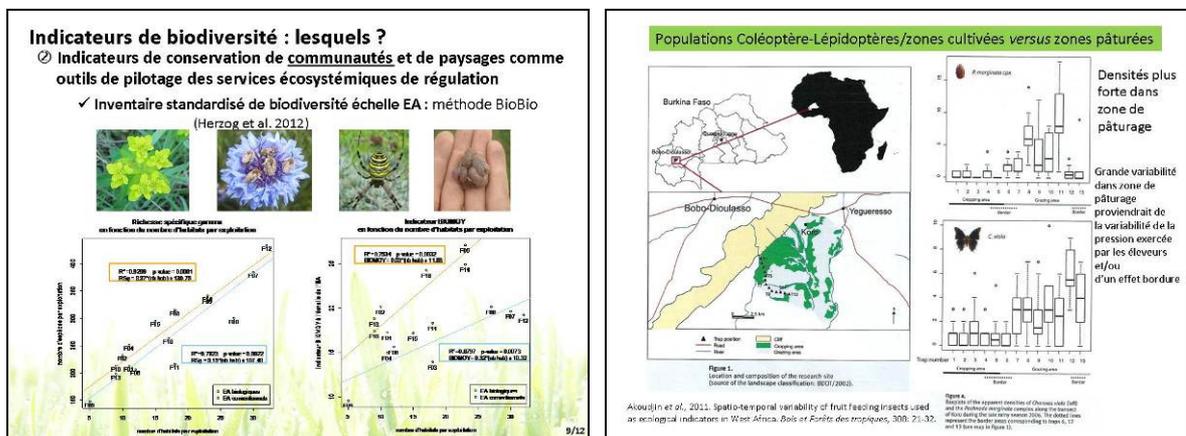
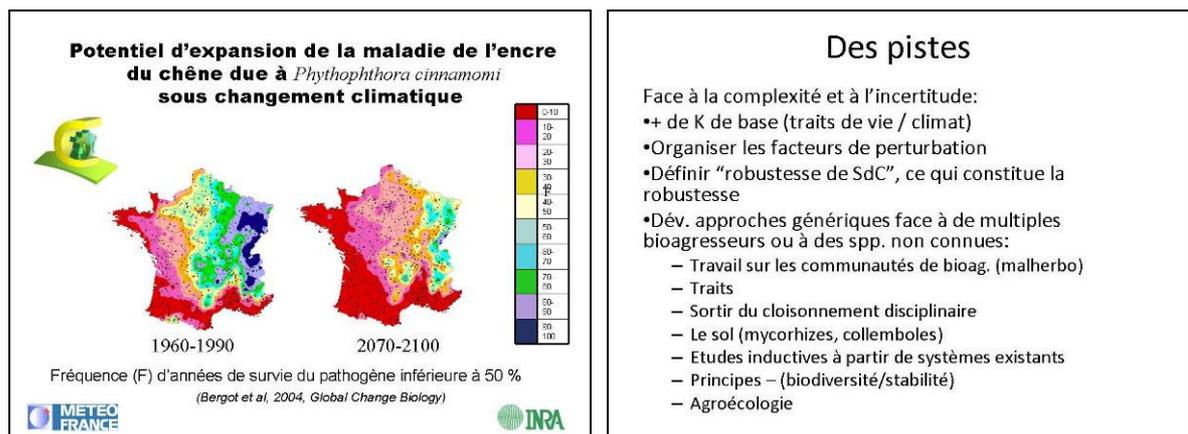


Figure 22. Illustrations issues des exposés de Jean-Pierre Sarthou (EIP-ENSAT/INRA) et Bruno Michel (CIRAD) sur le développement d'indicateurs de biodiversité.

## Ateliers

Trois ateliers ont été conduits en parallèle afin d'identifier les questions de recherche à traiter de manière prioritaire à partir d'un état des lieux des connaissances disponibles sur trois thèmes majeurs pour la protection des cultures : 1) l'adaptation des stratégies de protection des cultures au changement climatique ; 2) l'utilisation durable des pesticides ; 3) la gestion des bioagresseurs par une adaptation de l'architecture du couvert.

L'atelier portant sur l'adaptation des stratégies de protection des cultures au changement climatique a permis d'identifier un certain nombre de priorités de recherches suite à un exposé introductif se basant sur les conclusions d'un atelier ENDURE-IPTS organisé avec la commission européenne, et le projet Climator (Figure 23). Les participants à l'atelier ont identifié quatre orientations à privilégier en termes de programmes de recherche : i) améliorer les connaissances de base sur les ennemis des cultures quant à leur dépendance aux variables climatiques ; ii) identifier et hiérarchiser les facteurs du changement climatiques impactant les dynamiques épidémiques *sensu lato* ; iii) concevoir des systèmes de culture "robustes", *i.e.* des systèmes de culture à performances agronomiques peu sensibles aux aléas climatiques; iv) conduire des travaux génériques de manière à comprendre la réaction au changement climatique de la diversité des organismes nuisibles aux cultures, voire d'espèces non connues.



**Figure 23. Illustrations issues de l'exposé introductif et de l'exposé de restitution de l'atelier sur l'adaptation des stratégies de protection des cultures au changement climatique sur la santé des plantes animé par Marco Barzman, Laurent Huber (INRA) et Jean-Louis Sarah (CIRAD).**

L'atelier portant sur l'utilisation durable des pesticides s'est appuyé sur un exposé introductif posant la problématique et présentant les activités du Réseau de Réflexion et de Recherches sur les Résistances aux Pesticides (R4P, Figure 24) et le contour de l'action-clé SUCHI (Sustainable Use of CHEmIstry) du métaprogramme SMACH. Pour préserver l'efficacité des pesticides, il est apparu aux participants qu'il était important de décloisonner les champs disciplinaires et que les travaux pouvaient s'appliquer à une plus large gamme de produits que les seuls pesticides (*e.g.* biopesticides, Stimulateurs de Défense Naturels des plantes). De plus, les échelles d'espace supérieures à la parcelle doivent être considérées pour élaborer des stratégies anti-résistances. La modélisation, et notamment le développement d'Outils d'Aide à la Décision doit désormais intégrer la question de la gestion de la durabilité de la lutte chimique. La protection intégrée des cultures faisant appel à d'autres mécanismes que la lutte chimique, son déploiement contribue directement à préserver l'efficacité des pesticides.



## Liste des participants

Abadie Catherine, catherine.abadie@cirad.fr  
Alaphilippe Aude, aualaphilipp@avignon.inra.fr  
Angevin Frédérique, angevin@grignon.inra.fr  
Aouadi Nawel nawel.aouadi@dijon.inra.fr  
Aubertot Jean-Noël, Jean-Noel.Aubertot@toulouse.inra.fr  
Auzoux Sandrine, sandrine.auzoux@cirad.fr  
Babin Régis, regis.babin@cirad.fr  
\*Barthélémy Daniel, daniel.barthelemy@cirad.fr  
Barzman Marco, Marco.Barzman@grignon.inra.fr  
Bernicot Marie-Hélène, marie-helene.bernicot@dijon.inra.fr  
\*Boiffin Jean, jean.boiffin@angers.inra.fr  
Bonnemé Marie-Hélène, mh.bonneme@purpan.fr  
Calonnec Agnès, calonnec@bordeaux.inra.fr  
Cardona Aurélie, aurelie.cardona@avignon.inra.fr  
Carpentier Alain, alain.carpentier@rennes.inra.fr  
Carval Dominique, dominique.carval@cirad.fr  
Cellier Vincent, vincent.cellier@epoisses.inra.fr  
Chave Marie, Marie.Chave@antilles.inra.fr  
Clouvel Pascal, pascal.clouvel@cirad.fr  
Coléno François, coleno@grignon.inra.fr  
Cortesero Anne-Marie, anne-marie.cortesero@univ-rennes1.fr  
\*Côte François, francois.cote@cirad.fr  
Damour Gaëlle, gaelle.damour@cirad.fr  
De Lapeyre De Bellaire Luc, luc.de\_lapeyre\_de\_bellaire@cirad.fr  
Debieu Danièle, debieu@versailles.inra.fr  
Deguine Jean-Philippe, jean-philippe.deguine@cirad.fr  
Deytieux Violaine, violaine.deytieux@epoisses.inra.fr  
Faloya Vincent, vincent.faloya@rennes.inra.fr  
Forget Dominique, forget@bordeaux.inra.fr  
Fortino Gabriele, gabriele.fortino@grignon.inra.fr  
Gaba Sabrina, sabrina.gaba@dijon.inra.fr  
Gout Lilian, lilian.gout@agroparistech.fr  
Gozé Eric, eric.goze@cirad.fr  
\*Grechi Isabelle, isabelle.grechi@cirad.fr  
Huber Laurent, Laurent.Huber@grignon.inra.fr  
Jeannequin Benoît, jeannequin@supagro.inra.fr  
Jonville Dominique, dominique.jonville@basf.com  
Le Bellec Fabrice, lebellec@cirad.fr  
\*Le Gall Olivier, olegall@bordeaux.inra.fr  
Lefebvre Marianne, Marianne.LEFEBVRE@ec.europa.eu  
Lefèvre Amélie, lefevrea@supagro.inra.fr  
\*Lescourret Françoise, francoise.lescourret@avignon.inra.fr  
Mailly Florine, florine.mailly@supagro.inra.fr  
Martin Pierre, pierre.martin@cirad.fr  
Méssean Antoine, messean@grignon.inra.fr  
Meynard Jean-Marc, meynard@grignon.inra.fr  
Michel Bruno, bruno.michel@cirad.fr  
Mille Bruno, Bruno.Mille@rennes.inra.fr  
Moreau Delphine, delphine.moreau@dijon.inra.fr  
Motisi Natacha, natacha.motisi@cirad.fr  
Munier-Jolain Nicolas, nicolas.munier-jolain@dijon.inra.fr  
Naud Olivier, olivier.naud@irstea.fr  
Ngobieng Marie-Ange, marie-ange.ngo\_bieng@cirad.fr  
\*Plantegenest Manuel, plantage@agrocampus-ouest.fr

Ratnadass Alain, alain.ratnadass@cirad.fr  
Reboud Xavier, xavier.reboud@dijon.inra.fr  
Renou Alain, alain.renou@cirad.fr  
Ripoche Aude, aude.ripoche@cirad.fr  
Risède Jean-Michel, jean-michel.risede@cirad.fr  
Salembier Chloé, chloe.salembier@supagro.inra.fr  
Sapoukhina Natalia, sapoukhi@angers.inra.fr  
Sarah Jean-Louis, jean-louis.sarah@cirad.fr  
Sarhou Jean-Pierre, sarhou@ensat.fr  
Savary Serge, Serge.Savary@toulouse.inra.fr  
Silvie Pierre, pierre.silvie@cirad.fr  
Simon Sylvaine, simon@avignon.inra.fr  
Smits Nathalie, smits@SUPAGRO.INRA.FR  
Tchamitchian Marc, Marc.Tchamitchian@avignon.inra.fr  
Temple Ludovic, ludovic.temple@cirad.fr  
Valentin-Morison Muriel, Muriel.Morison@grignon.inra.fr  
Verjux Nathalie, N.VERJUX@arvalisinstitutduvegetal.fr

*Les astérisques indiquent le nom de personnes inscrites au séminaire mais qui n'ont pu participer. En outre, une dizaine d'élèves-ingénieurs de la spécialisation en Protection des Plantes et Environnement cohabilitée par AgroCampus ouest, Montpellier SupAgro et AgroParisTech a assisté à deux sessions du séminaire.*