

2^{ème} ÉDITION
2012

les dossiers **d'AGROPOLIS** INTERNATIONAL

Compétences de la communauté scientifique



Agronomie

Plantes cultivées et systèmes de culture

AGROPOLIS INTERNATIONAL

agriculture • alimentation • biodiversité • environnement

*Agropolis International
associe les institutions de
recherche et d'enseignement
supérieur de Montpellier et
du Languedoc-Roussillon, en
partenariat avec les collectivités
territoriales, avec des sociétés
et entreprises régionales, et en
liaison avec des institutions
internationales.*

*Agropolis International
constitue un espace
international ouvert à tous
les acteurs du développement
économique et social dans les
domaines liés à l'agriculture,
à l'alimentation, à la
biodiversité, à l'environnement
et aux sociétés rurales.*

Agropolis International est un campus dédié aux sciences « vertes ». Il représente un potentiel de compétences scientifiques et techniques exceptionnel : plus de 2 200 cadres scientifiques répartis dans 80 unités de recherche à Montpellier et en Languedoc-Roussillon, dont 300 scientifiques travaillant dans 60 pays.

La communauté scientifique Agropolis International est structurée en grands domaines thématiques correspondant aux grands enjeux scientifiques, technologiques et économiques du développement :

- Biodiversité et écosystèmes terrestres ;
- Biodiversité et écosystèmes aquatiques ;
- Interaction hôte-parasites et maladies infectieuses ;
- Ressources génétiques et biologie intégrative des plantes ;
- Agronomie, plantes cultivées et systèmes de cultures, agro-écosystèmes ;
- Une filière emblématique : vigne et vin ;
- Production et santé animales ;
- Alimentation, nutrition, santé ;
- Économie, sociétés et développement durable ;
- Modélisation, information géographique, biostatistiques ;
- Eau, ressources et gestion ;
- Écotechnologies.

Lieu de capitalisation et de valorisation des savoirs, espace de formation et de transfert technologique, plateforme d'accueil et d'échanges internationaux, la communauté scientifique Agropolis International développe des actions d'expertise collective et contribue à fournir des éléments scientifiques et techniques qui permettent d'élaborer et de mettre place des politiques de développement.

Compétences de recherche de Montpellier et du Languedoc-Roussillon dans le domaine de l'agronomie

Les crises alimentaires des années 2006-2008 et les émeutes de la faim qui les ont accompagnées ont remis sur le devant de la scène médiatique et politique le rôle primordial de l'agriculture, et, par voie de conséquence, du rôle essentiel que les sciences agronomiques sont et seront appelées à jouer dans les années qui viennent.

Les agronomes sont en effet confrontés à un défi majeur : inventer et promouvoir des agricultures capables d'assurer un volume de production suffisant pour nourrir une humanité forte demain de 9 milliards d'individus, tout en assurant une qualité des produits à même de garantir le bien-être et la santé de tous, et, parallèlement, de minimiser l'empreinte environnementale des activités agricoles.

Cette recherche sur les plantes cultivées et les systèmes de culture est au cœur de la communauté scientifique d'Agropolis International, dont elle constitue un des domaines d'excellence. Les agronomes d'Agropolis s'attachent à développer des solutions durables adaptées à des contextes biophysiques et socio-économiques variés : agricultures des pays tempérés, méditerranéens ou tropicaux, grandes exploitations mécanisées ou petit paysannat, productions alimentaires locales ou cultures industrielles et d'exportation...

Les thématiques couvertes dans ce dossier concernent 13 unités de recherche pluridisciplinaires, regroupant plus de 300 chercheurs et enseignants chercheurs, encadrant près d'une centaine de doctorants. Les complémentarités entre les compétences mises en jeu au sein de ces différentes équipes permettent de faire face à la diversité et la complexité des enjeux et des contextes agricoles.

Vous trouverez une version actualisée de ce document en consultant le e-dossier *les compétences de la communauté scientifique de Montpellier et du Languedoc-Roussillon sur la thématique Agronomie-Plantes cultivées et systèmes de culture*.



www.agropolis.fr/agronomie

Agronomie

Plantes cultivées et systèmes de culture

*Avant-propos : enjeux, approches
et complémentarités de l'agronomie aujourd'hui* Page 4

*Assurer une production
alliant quantité et qualité* Page 6

*Minimiser l'impact des cultures
sur les cycles biogéochimiques* Page 18

*Réguler les populations de bioagresseurs
et optimiser l'usage des produits phytosanitaires* Page 28

Préserver les ressources en eau Page 38

Concevoir et diffuser des innovations Page 48

*Thématiques couvertes
par les équipes de recherche* Page 56

Insertion dans des réseaux internationaux Page 58

*Les formations
à Agropolis International* Page 60

*Liste des acronymes
et des abréviations* Page 66

Photos de couverture (recto) : © S. Simon, © N. Villemejeanne, © E. Malézieux, © IRD
Photos de couverture (verso) : P. Grand © Cirad, © A. Verwilghen, © Cirad La Réunion,
© P. Andrieux, © M. Lesueur Jannoyer

Les coordonnées des unités de recherche ont été mises à jour en juillet 2012.
Les autres informations ont été validées et publiées au 30/05/10.

Avant-propos

Enjeux, approches *et complémentarités* de l'agronomie aujourd'hui

L'agronomie est un champ scientifique qui tire son originalité des éléments suivants :

- un ancrage fort dans le domaine des sciences biophysiques, par l'analyse, l'expérimentation et la modélisation du fonctionnement des systèmes sol-plante-bioagresseurs que sont les champs cultivés, considérés sous l'angle de systèmes complexes.
- un ancrage plus récent mais aujourd'hui très marqué, notamment en France, dans l'étude des pratiques des agriculteurs prises comme objets soumis à des déterminismes socio-économiques que l'on cherche à éclairer par les dimensions biophysiques et techniques des systèmes de culture.
- une recherche résolument ancrée dans l'ingénierie des systèmes de culture et qui fonde ses questionnements scientifiques d'avantage sur la résolution de problèmes que sur un processus ou une théorie.
- cette approche est déclinée sur une large gamme d'objets allant de la plante au territoire en passant par le champ cultivé et les systèmes de culture d'une exploitation agricole.

Le croisement de ces quatre dimensions de l'agronomie moderne est illustré dans ce document à

travers des exemples tirés des projets de recherche des unités de recherche qui se positionnent pour tout ou partie dans ce champ scientifique. Les exemples balayent une large gamme de plantes (annuelles, pérennes...), cultivées dans des contextes tropicaux ou méditerranéens, à faible ou forte intensité d'intrants (main d'œuvre, engrais, pesticides, énergie) et plus ou moins mécanisés, afin de montrer le caractère générique de cette agronomie, des outils et méthodes qu'elle mobilise.

Pour marquer le caractère finalisé de cette recherche, le document est organisé en cinq chapitres qui reprennent chacun un enjeu majeur pour l'agriculture du 21^{ème} siècle :

- assurer une production alliant quantité et qualité pour répondre aux besoins alimentaires et non alimentaires d'une population croissante avec des systèmes de culture plus efficaces dans l'utilisation des ressources non renouvelables (eau, énergie, phosphore...);
- minimiser l'impact des cultures sur les cycles biogéochimiques afin de réduire les émissions de gaz et de solutés vers l'environnement, de contribuer au recyclage des effluents et de préserver les ressources en sols et leur qualité ;

- réguler les populations de bioagresseurs et optimiser l'usage des produits phytosanitaires en concevant des systèmes de culture permettant, par le recours aux processus écologiques, de maintenir un niveau de santé des plantes compatible avec des objectifs économiques et environnementaux de plus en plus ambitieux ;
- préserver les ressources en eau en développant une agriculture plus efficace par rapport à cette ressource qui ira en se raréfiant dans la plupart des régions méditerranéennes et tropicales, et émettant moins de polluants vers les nappes et rivières ;
- concevoir et diffuser des innovations permettant d'atteindre la combinaison de ces différentes fonctions attendues par les acteurs d'un territoire considéré dans sa diversité et face aux changements globaux.

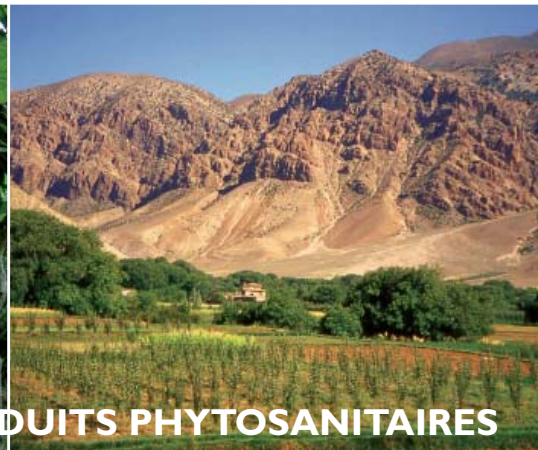
Jacques Wery
(UMR System)



PRODUCTION - QUANTITÉ ET QUALITÉ



CYCLES BIOGÉOCHIMIQUES



BIOAGRESSEURS - PRODUITS PHYTOSANITAIRES



RESSOURCES EN EAU



INNOVATIONS



A. Verwilghen © Cirad

▲ Récolte des fruits du palmier à huile.

► Oranges Valencia-late, Maroc.

Assurer une production *alliant quantité et qualité*



Bien qu'ayant largement contribué à l'amélioration spectaculaire de la productivité dans les pays industrialisés, le modèle d'agriculture intensive, fondé sur l'utilisation massive de pesticides, d'engrais chimiques, d'eau et d'énergie fossile, est aujourd'hui remis en cause. À l'issue de plusieurs décennies de mise en œuvre, les conséquences sur l'environnement, la santé humaine et la biodiversité, stigmatisent les carences de ce mode de production en matière de durabilité.

Dans les pays du Sud, pourtant longtemps sensibilisés aux techniques de l'agriculture intensive, les rendements restent faibles et l'accroissement de la production est généralement allé de pair avec celui des surfaces cultivées au détriment des écosystèmes forestiers ou des aires pastorales. Face à la demande d'une population mondiale en perpétuelle croissance, la recherche agronomique des régions chaudes, comme des régions tempérées, est mise à contribution pour proposer « d'autres façons de produire ».

Dans les écosystèmes naturels, la biodiversité exerce de nombreuses fonctions qui ont été progressivement perdues durant les dernières décennies, en lien avec une simplification drastique des paysages dans les pays industrialisés, et une altération de la productivité primaire des milieux dans les pays du Sud. Dans un cas comme dans l'autre, on ne fera pas l'économie d'une remobilisation de la biodiversité fonctionnelle dans les systèmes cultivés. Les plantes de couverture, ou

l'agroforesterie par exemple, influencent et activent des processus-clés tels que l'activité biologique des sols, la fourniture d'habitats pour les insectes bénéfiques, ou encore la régulation du climat local et des flux hydriques. C'est cette voie qu'explore le collectif des agronomes d'Agropolis International afin de réduire l'usage des pesticides, des engrais et du travail du sol, sans négliger pour autant le fait que les systèmes cultivés sont conçus et gérés pour exporter, ce qui les distingue fondamentalement des systèmes naturels.

Tout en investissant fortement la question de la réduction des impacts environnementaux, l'agronomie l'aborde systématiquement dans la recherche d'un compromis avec les aspects quantitatif et qualitatif de la production, qui fondent le plus souvent la durabilité économique. Dans ce contexte, la production est étudiée comme le résultat du pilotage d'un système biophysique complexe - celui de la parcelle cultivée - au sein duquel populations végétales, pathogènes et ravageurs, interagissent et partagent une ressource (eau, lumière, habitat, etc.). Elle est également considérée - et c'est là l'enjeu des recherches vis-à-vis de nouveaux modes de production - comme un objet d'échange commercial soumis à des normes et des critères de qualité requis par la filière et les marchés.

**Pascal Clouvel (UPR SCA)
& Jacques Wery (UMR System)**

Assurer une production *alliant quantité et qualité*

Les équipes

UPR SCA
Systèmes de cultures annuelles
(Cirad)

60 scientifiques

Directeur : Florent Maraoux,
florent.maraoux@cirad.fr

<http://ur-sca.cirad.fr>

► Présentation page 10

**UPR SIA Systèmes et Ingénierie
agronomique**
(Cirad)

13 scientifiques

Directeur : Jean-Claude Legoupil
jean-claude.legoupil@cirad.fr

www.cirad.fr/ur/couverts_permanents

► Présentation page 12

UR PSH
Plantes et Systèmes
de culture Horticoles
(Inra)

28 scientifiques

Directeur : Michel Génard,
michel.genard@avignon.inra.fr

www.avignon.inra.fr/psb

► Présentation page 8

UMR LEPSE
Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes
sous Stress Environnementaux
(Inra, Montpellier SupAgro)

11 scientifiques

Directeur : Bertrand Muller,

muller@supagro.inra.fr

www4.paca.inra.fr/psb

► Présentation page 40

UMR Innovation
Innovation et développement
dans l'agriculture et l'agroalimentaire
(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)

51 scientifiques

Directeur : Christophe Soulard,
soulard@supagro.inra.fr

<http://umr-innovation.cirad.fr>

► Présentation page 50

UMR SYSTEM
Fonctionnement et conduite
des systèmes de culture tropicaux et
méditerranéens
(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)

21 scientifiques

Directeur : Christian Gary,

dirsystem@supagro.inra.fr

<http://umr-system.cirad.fr>

► Présentation page 52

... suite page 10

Productions horticoles : *promotion de la qualité et du respect de l'environnement*

L'unité de recherche (UR) *Plantes et Systèmes de culture Horticoles* (PSH, Inra) travaille sur les productions horticoles, principalement les fruits et légumes consommés en frais (pêche, pomme, tomate, etc.). Ses objectifs finalisés sont de contribuer à la mise au point de scénarios techniques et paysagers permettant de promouvoir la qualité des produits récoltés et le respect de l'environnement.

La réalisation de ces objectifs s'appuie sur des études au niveau de la plante, de ses fruits et de populations de bioagresseurs, destinées à mieux comprendre et modéliser leurs réponses à l'environnement et les relations trophiques « plantes, bioagresseurs et leurs ennemis naturels ». Des recherches sont aussi réalisées à l'échelle des systèmes de culture pour comprendre et modéliser le fonctionnement des plantes sous l'influence des interventions techniques et en interaction avec l'environnement physique et biotique. Les recherches sont structurées autour de trois équipes :

■ **Architecture et Gestion des Ressources** : l'objectif est d'étudier et modéliser les couplages entre les fonctions d'acquisition et d'utilisation des ressources nutritives (eau, carbone, azote) et le développement architecturé de la plante entière. Ces travaux d'écophysiologie s'appuient sur des mesures de flux et l'analyse des processus de mise en place des organes au sein d'un réseau de sources et de puits en interactions

qui définissent l'architecture aérienne et racinaire. La modélisation de la croissance, de la nutrition azotée à petit pas de temps et des transports couplés de l'eau et des ressources N et C au sein de l'architecture, sont des points forts de l'équipe. L'étude des interactions entre ces processus et l'environnement biotique des cultures (contraintes des bioagresseurs) constitue un nouvel axe de recherche.

■ **Écophysiologie de la Qualité des Fruits** : l'objectif est de décrire et de modéliser les processus participant à l'élaboration de la qualité des fruits charnus sous le contrôle du génome et de la plante, en relation avec l'environnement physique et les interventions techniques. Une plateforme de modélisation « fruit virtuel » permet de coupler différents modèles d'intégration quantitative des fonctions physiologiques intervenant au cours du développement et de la croissance des fruits (division et multiplication cellulaire, croissance, composition en sucres, acides et en composés antioxydants, etc.).

■ **Écologie de la Production Intégrée** : le premier objectif est de comprendre la chaîne de causalité qui relie les pratiques culturales et les caractères du paysage agricole, au fonctionnement des systèmes horticoles définis par leur composants (plantes, sol, bioagresseurs, ennemis naturels) puis aux performances de ces systèmes : production, santé des plantes, impacts environnementaux et sur certaines populations participant à la biodiversité fonctionnelle en vergers. Le second objectif est de concevoir sur ces bases des scénarios techniques et paysagers adaptés à la production intégrée. ...



© F. Normand

▲ *Manguier de la variété Cogshall en pleine production.*

Production et qualité du fruit chez le manguier

Le manguier est la cinquième production fruitière mondiale. Comme d'autres espèces fruitières tropicales, sa culture pose des problèmes relatifs au rendement et à la qualité : alternance de floraison et de production d'une année sur l'autre, qualité et maturité des fruits variables, contrôle des maladies et ravageurs. Le manque de connaissances sur le manguier est un frein à la bonne maîtrise de sa culture. La démarche adoptée consiste à identifier les facteurs qui affectent les processus-clés du cycle biologique du manguier et à repérer ceux sur lesquels l'agriculteur peut agir en vue d'une production régulière et de qualité, selon des pratiques respectant l'environnement. Face à la complexité des processus abordés et aux nombreuses interactions, la modélisation est un outil de choix pour synthétiser les connaissances.

Ces travaux ont montré qu'il existe chez le manguier des relations étroites et réciproques, quantitatives et temporelles, entre la croissance végétative et les processus de floraison/ fructification. Un modèle de développement du manguier est en cours de construction, basé sur la phénologie de l'arbre et sur

les facteurs endogènes et exogènes (température) qui l'affectent. Par ailleurs, il a été montré que la croissance et l'élaboration de la qualité du fruit dépendent de son environnement lumineux et de la disponibilité en carbone et en eau. Un modèle d'élaboration du calibre et de la qualité de la mangue est actuellement opérationnel.

Ces résultats amènent à proposer des opérations techniques innovantes qui sont testées en parcelles de production. Le couplage des deux modèles précédents permettra à terme la construction d'un modèle d'élaboration du rendement et de la qualité des fruits à l'échelle de l'arbre puis du verger. La prise en compte de la phénologie, et donc des stades sensibles aux bioagresseurs, ouvrira la voie aux couplages avec des modèles de bioagresseurs pour la mise au point de techniques non chimiques de protection du verger.

**Contacts : Frédéric Normand, frederic.normand@cirad.fr
& Mathieu Léchaudel, mathieu.lechaudel@cirad.fr**

Méthodes de diagnostic pour l'amélioration de la productivité des pérennes tropicales



© B. Dubos

▲ Grands palmiers en fin de cycle (12 m et plus) : utilisation de perches nécessitant une main d'œuvre qualifiée (Équateur).

Dans la zone tropicale humide, l'expansion des cultures du palmier à huile, de l'hévéa, du caféier et du cacaoyer pour satisfaire une demande mondiale croissante, soulève des questions environnementales. Il est donc primordial d'améliorer la productivité des plantations en place en visant des rendements élevés et durables en adoptant des pratiques à faible impact environnemental.

Les chercheurs de l'UPR « Performance des Systèmes de Culture des Plantes Pérennes » élaborent des outils d'aide à la décision permettant d'établir un diagnostic des parcelles puis d'améliorer leur conduite technique. Ainsi, le « Diagnostic foliaire » est l'outil qui permet le pilotage fin de la fertilisation en palmeraie à partir d'analyses de feuilles. Le « Diagnostic sol » permet le calcul de la fumure dans les caféières et les cacaoyères à partir d'analyses de sol. Le « Diagnostic latex » est utilisé pour conduire la saignée des hévéas à partir d'analyses du latex.

Une fois construits, ces outils sont testés, adaptés à des situations locales et améliorés progressivement. Le « Diagnostic foliaire » est ainsi utilisé depuis quelques décennies dans plusieurs centaines de milliers d'hectares de palmeraies industrielles dans le monde pour apporter la juste quantité d'engrais. Il évolue actuellement pour être couplé à un second outil, le « Diagnostic rachis ». Il a été adapté au Cameroun pour améliorer le conseil technique aux petits planteurs de palmier à huile. Le « Diagnostic sol » vient de permettre la réalisation d'une carte de conseil de fertilisation des cacaoyères du Ghana à partir d'une carte des sols. Le « Diagnostic latex », qui permet d'exploiter le plus durablement possible les plantations d'hévéa, est appliqué en Asie (Indonésie, Malaisie, Thaïlande, Vietnam, Chine, Inde), en Afrique (Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Cameroun) et en Amérique latine (Brésil, Guatemala). Cet outil évolue actuellement pour permettre aussi de choisir les clones les mieux adaptés aux situations éco-climatiques marginales.

Contacts : Éric Gohet, eric.gohet@cirad.fr, Didier Snoeck, didier.snoeck@cirad.fr & Sylvain Rafflegeau, sylvain.rafflegeau@cirad.fr

Les modèles, utiles pour articuler des connaissances issues de disciplines différentes et pour des étapes de conception *in silico*, sont des éléments essentiels de notre démarche.

Des collaborations importantes sont développées avec des équipes de recherche françaises et internationales. De nombreux travaux sont réalisés en partenariat avec des instituts techniques et de développement agricole.

Cultures annuelles : *produire autrement* au Sud

Les travaux de l'unité propre de recherche (UPR) *Systèmes de cultures annuelles* (SCA, Cirad) s'adressent aux agricultures familiales du Sud, caractérisées par une croissance démographique élevée et un accès limité au foncier, une forte dépendance vis-à-vis d'une pluviosité de plus en plus irrégulière, des sols fragiles susceptibles à l'érosion et des conditions socio-économiques difficiles et instables, avec, en particulier, un accès limité aux marchés et au crédit.

Son objectif est de concevoir des systèmes de cultures permettant de protéger et valoriser durablement les ressources naturelles des

Les travaux s'appuient sur des plateformes expérimentales et techniques (laboratoires d'analyse biochimique et de biologie moléculaire, chambres de culture, insectarium, serres, tunnels et vergers expérimentaux au sein de l'unité expérimentale du Domaine St Paul - Avignon ou de Recherche Intégrée de Gotheron). PSH a développé un automate *Totomatix* pour piloter à une échelle horaire la nutrition minérale des plantes en milieu contrôlé. Une zone atelier constituée d'un territoire de 70 km² dans la Basse Vallée de la Durance sert de support à de nombreuses recherches in situ, notamment l'analyse des pratiques des producteurs et des dynamiques spatiotemporelles de populations de bioagresseurs, en lien avec leurs ennemis naturels et les composantes paysagères. Enfin, l'activité de modélisation est un point central dans l'unité.

Les équipes

UPR HortSys
Fonctionnement Agroécologique et Performances des Systèmes de Culture Horticoles

(Cirad)

30 scientifiques

Directeur : Éric Malézieux,

malezieux@cirad.fr

www.cirad.fr/ur/hortsys

► Présentation page 32

UPR Performance des systèmes de culture des plantes pérennes

(Cirad)

21 scientifiques

Directeur : Éric Gohet,

eric.gohet@cirad.fr

www.cirad.fr/ur/systemes_de_perennes

► Présentation page 22

UPR Systèmes de culture bananiers plantains ananas

(Cirad)

18 scientifiques

Directeur : Jean-Michel Risède

jean-michel.risede@cirad.fr

www.cirad.fr/ur/systemes_bananes_ananas

► Présentation page 34

agricultures du Sud, accroître leur productivité et limiter les impacts environnementaux de l'activité agricole. Outre le bien-être des populations rurales concernées, les récentes émeutes de la faim ont montré le rôle déterminant des productions locales pour l'alimentation des populations urbaines, en constante augmentation.

Vis-à-vis de ces populations, le défi de « l'intensification écologique » est de produire plus et de façon régulière grâce à un recours accru aux services des écosystèmes. Pour les chercheurs de l'unité, « produire autrement » suppose d'observer différemment les processus mis en œuvre dans la production.

Cette nouvelle façon d'opérer contraint en particulier à considérer le système « sol-plante-atmosphère » comme un système biologique ouvert du fait d'une utilisation limitée,

voir nulle, des pesticides, engrais chimiques et de l'irrigation. Elle contraint également à considérer le champ cultivé comme un système social ouvert vis-à-vis du fonctionnement de l'exploitation agricole et des filières de production.

L'UPR SCA est organisée en cinq équipes :

- **L'équipe CARABE (Caractérisation et gestion intégrée des Risques d'origine Biotique pour les Écosystèmes cultivés)** étudie l'effet des pratiques et des systèmes de culture en tant que facteur de variation de la disponibilité spatio-temporelle des ressources (trophiques, habitat), sur le contrôle et la régulation des bioagresseurs.
- **L'équipe QUALITE** s'intéresse à la caractérisation, et aux processus d'élaboration de la qualité des produits agricoles (bruts et transformés). Elle s'intéresse aussi à la gestion de cette qualité par les

pratiques des acteurs au niveau de la parcelle, du paysage ou de la filière.

■ **L'équipe ADEMES (Aide à la Décision Multi-Échelle et Spatialisation)** complète cette approche sur les aspects spatialisation et organisation des bassins d'approvisionnement. Ces activités concernent la production de fibres (coton) et de sucre (canne à sucre) avec une volonté d'ouverture vers les filières énergétiques (canne à sucre et jatropha).

■ **L'équipe CESCO (Conception et Évaluation des Systèmes de Culture Annuels)** a pour vocation de concevoir et évaluer des systèmes de culture annuels répondant au triple point de vue de durabilité écologique, de viabilité économique et d'équité sociale. Dans ce cadre, l'aspect biophysique des pratiques (agriculture de conservation, régulation des bioagresseurs, intégration agriculture-élevage, etc.) est étudié en interaction avec les sciences sociales et humaines. ...

Modélisation du fonctionnement d'un agrosystème tropical : le cas du bananier

Innover en matière de systèmes de culture (SdC) nécessite de modifier le fonctionnement global de l'agrosystème.

Une approche systémique des relations entre la plante, les bioagresseurs et le milieu est alors nécessaire pour comprendre et décrire le fonctionnement de ces nouveaux systèmes, plus complexes que ceux fondés sur l'usage massif d'intrants. Cette représentation systémique du fonctionnement de l'agrosystème, paramétrable en fonction de la valeur des variables étudiées, constitue un modèle : ce véritable outil d'aide à la conception des SdC permet également d'obtenir une représentation de leur fonctionnement.

Le modèle SIMBA simule le fonctionnement et les performances des bananeraies et permet l'évaluation multicritères de SdC, virtuels ou réels. Il est paramétrable suivant différentes variables (données climatiques et pédologiques, niveaux initiaux des populations de nématodes parasites) et permet de simuler la croissance des bananiers et leur rendement, les dynamiques de développement des bioagresseurs, le niveau d'eau et d'azote dans le sol, ainsi que la croissance et l'effet des plantes de couverture et des adventices. Il évalue en outre les risques environnementaux des systèmes simulés. Il prend en compte l'évolution de la structure du peuplement de bananiers au cours des cycles de culture. L'intégration dans le modèle de la composante parasitaire, en interaction avec la croissance et la structure du peuplement, l'état du sol et l'emploi de nématicides,

est un élément majeur dans la simulation de la performance agri-environnementale des bananeraies simulées. Il permet d'étudier certains mécanismes écologiques et de proposer et d'optimiser de nouveaux moyens de lutte (rotations culturales, systèmes à base de plantes de couverture...).



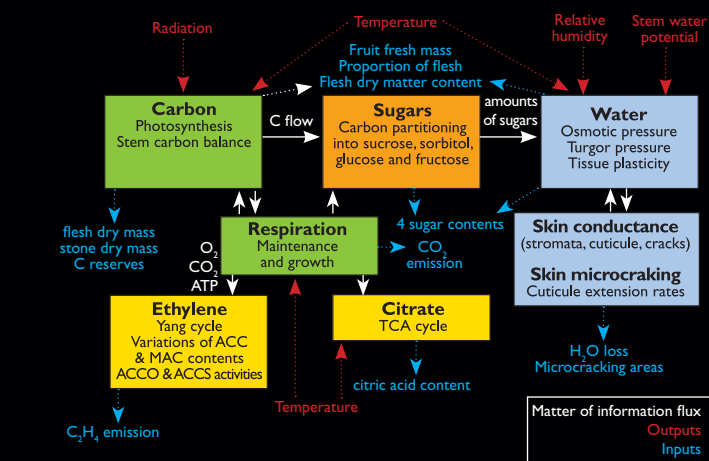
L'organisation spatiale inter- et intraparcélaire ainsi que la spatialisation des moyens de protection sont des éléments-clés pour le contrôle des bioagresseurs. Du fait de sa dispersion modérée, le charançon du bananier est un bon exemple pour étudier l'effet de l'organisation spatiale des SdC sur son épidémiologie. Le modèle COSMOS simule le déplacement de l'insecte, sa reproduction et sa mortalité, en interaction avec le bananier, les résidus de culture, les plantes de couverture et des pièges à phéromones. Il permet d'optimiser le piégeage et propose des agencements paysagers qui limitent le développement des populations de charançons.

Ces nouveaux outils devraient permettre de prédire les performances en termes de production et les propriétés émergentes des différentes communautés de la bananeraie, comme leur stabilité ou leur résilience.

Contact : Philippe Tixier, philippe.tixier@cirad.fr

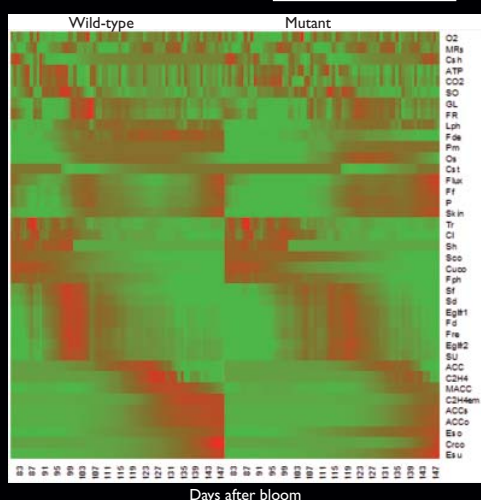
▲ Association bananier/Neonotonia Wightii (légumineuse).

Un « Fruit Virtuel » pour mieux comprendre la qualité



▲ **Représentation schématique des liens entre sous-modèles du « Fruit Virtuel »**
En gras : sous-modèle et en normal : les variables

► **Simulation de l'évolution temporelle du profil physiologique du fruit d'un génotype sauvage et d'un mutant pour le transport des sucres vers le fruit**
(les valeurs augmentent du vert au rouge).



La qualité des fruits résulte de nombreux processus physiologiques qui interagissent fortement, qui sont contrôlés par de nombreux gènes et dont l'intensité varie avec l'environnement et les pratiques culturales. Sa maîtrise passe par la compréhension des contrôles génétiques, environnementaux et culturels de l'intensité des processus et leurs interactions ; ce qui est particulièrement difficile. L'approche expérimentale classique ne permet pas d'avoir une image suffisamment intégrée du fonctionnement du fruit. Un « Fruit Virtuel », regroupant sept modèles décrivant les principaux aspects du fonctionnement du fruit, a donc été construit. Il est capable de simuler la croissance du fruit et l'évolution des teneurs en matière sèche et en ses principaux sucres et acides, ainsi que le niveau de maturité du fruit.

L'utilisation du « Fruit Virtuel » a montré que l'application d'un stress hydrique après une période de bonne irrigation, diminuait fortement la croissance, alors que les fruits de plantes stressées en continu ont une croissance continue ; ce qui suggère que les fruits peuvent s'adapter aux situations de stress. Le « Fruit Virtuel » a également permis de montrer qu'un changement génétique dû à une mutation perturbant le transport de sucres vers le fruit, touchait une part importante de son fonctionnement.

Le « Fruit Virtuel » a été couplé avec des modèles génétiques. Ce couplage ouvre une voie intéressante pour la sélection assistée par modèle et la recherche d'idéotypes qui répondent aux attentes des consommateurs en termes de qualité des produits. Le « Fruit Virtuel » pourrait également être particulièrement utile pour aider à interpréter les résultats obtenus en suivant des approches de génomique fonctionnelle.

Contact : Michel Génard, michel.genard@avignon.inra.fr

■ **L'équipe SCRiD (Systèmes de Culture et Rizicultures Durable)** travaille à Madagascar à la mise au point de systèmes de culture à base de riz pluvial, dans un contexte de collaboration rapprochée avec la recherche agronomique nationale et l'université d'Antananarivo.

Les travaux de l'unité couvrent les champs de l'agronomie, l'entomologie, la malherbologie, la sélection variétale, les biomathématiques, l'économie et la technologie. L'UPR développe ses activités à la Réunion, en Afrique sub-saharienne (Burkina Faso, Mali, Cameroun, Bénin), au Kenya, Zimbabwe et Madagascar, au Brésil. Des collaborations et des échanges de chercheurs ont lieu avec les États-Unis et l'Australie.

Le semis direct sur couverture végétale permanente

L'intensification écologique appliquée à l'agriculture, s'attache à reproduire le fonctionnement des écosystèmes naturels qui

associent un réseau d'interactions complexes et une forte biodiversité fonctionnelle. Complexité et biodiversité permettent l'expression de fonctions naturelles de régulation des cycles biologiques et biogéochimiques. C'est ce cheminement que les systèmes de culture doivent reproduire. Il s'agit donc de faire évoluer les agrosystèmes vers de véritables écosystèmes cultivés.

L'UPR Systèmes et ingénierie agronomique (SIA, Cirad) travaille sur la conception et la diffusion des systèmes de culture en SCV qui reposent sur trois principes indissociables :

- l'absence de tout travail du sol ;
- la couverture végétale permanente du sol par des espèces dédiées à la production de biomasse sur et dans le sol ;
- la constitution d'une large biodiversité constituée d'espèces végétales multifonctionnelles et de populations macro et microbiologiques qui leur sont associées et qui se mettent en place et évoluent grâce à des pratiques culturales adaptées et à des

ressources en carbone organique diversifiées et abondantes.

Ces principes permettent la meilleure expression des potentiels génétiques définissant les niveaux de résistance aux bioagresseurs et les niveaux de productivité. Le respect de ces principes, l'étude de leur mise en œuvre et leur maîtrise, constituent les bases d'une ingénierie appliquée à l'intensification écologique que promeut l'UPR. Ses compétences se déclinent selon deux axes complémentaires :

- Conception des systèmes de culture en SCV : activité au cœur même de l'UPR et appliquée au développement agricole, elle constitue une approche en ingénierie pour l'intensification écologique.
- Identification de thèmes de recherche appliqués à la compréhension des processus mis en jeu et permettant de définir les outils/indicateurs de pilotage des SCV.

Les dispositifs de terrain de l'UPR combinent une large diversité de contextes biophysiques et socioéconomiques représentatifs des milieux tropicaux.

Ils sont destinés à répondre aux enjeux majeurs pour le développement des pays du Sud. À partir de l'animation scientifique réalisée par l'équipe en activité au Brésil, berceau des SCV tropicaux, ces enjeux sont déclinés sur l'ensemble du dispositif géostratégique et partenarial de l'UPR : Afrique centrale (Cameroun), Afrique du Nord (Tunisie), Océan Indien (Madagascar), Asie (Cambodge, Laos, Vietnam, Thaïlande, Chine), Antilles (Guadeloupe).

À travers son réseau de partenariat, l'UPR s'applique à construire des dispositifs permettant d'aborder des thématiques de recherche jugées prioritaires à la fois pour la compréhension des processus mais

aussi pour la gestion des SCV en application directe à l'ingénierie pour l'intensification écologique.

Plusieurs thèmes de recherche prioritaires sont concernés :

- SCV et dynamique de matière organique du sol ;
- SCV et activité biologique des sols ;
- SCV et gestion des bioagresseurs, adventices, ravageurs et maladies, illustrés par trois exemples : le Striga, les vers blancs terricoles (ATP « Optimisation des mécanismes écologiques de gestion des bioagresseurs pour une amélioration durable de la productivité des agrosystèmes ») et la pyriculariose du riz (Gestion agronomique de la résistance du riz à la pyriculariose, Agence Nationale de la Recherche) ;

■ SCV et amélioration variétale : cas de la création variétale de riz (SEBOTA).

Des collaborations importantes sont développées avec des institutions françaises (Agence Française de Développement, Fonds Français pour l'Environnement Mondial, ministère des Affaires étrangères et européennes) et à l'étranger (Madagascar, Laos, Cameroun, Chine, Brésil, Vietnam, Cambodge, Thaïlande) comme le Groupement Semis Direct de Madagascar, l'université de Kasetsart (Thaïlande), etc. ■

L'intensification écologique des systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ou de caféier



▲ Cacaoyère agroforestière du Centre Cameroun

Les systèmes agroforestiers où cacaoyers et caféiers côtoient de nombreuses espèces ligneuses, forestières ou fruitières, sont des systèmes complexes à haute valeur environnementale et socioéconomique. Économes en intrants chimiques, ils sont durables et fournissent aux agriculteurs, outre du cacao et du café, une multitude de fruits autoconsommés ou vendus, du bois d'œuvre et des produits médicinaux. Ils participent également à la conservation de la biodiversité et au stockage du carbone. Il existe néanmoins un potentiel important d'amélioration des performances des différentes composantes de ces systèmes où les interactions entre les multiples espèces associées sont complexes.

Les recherches menées par le Cirad et ses partenaires, notamment en Amérique latine et en Afrique, visent à développer des modèles d'associations fonctionnelles qui prennent en compte les attentes des agriculteurs et les contraintes du milieu. Ceci implique en particulier de décrire les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ou de caféier, d'analyser leur fonctionnement éco-physiologique, d'évaluer leurs performances agro-écologiques et socioéconomiques, mais aussi de caractériser les pratiques culturelles adoptées par les agriculteurs. Ces recherches permettent aujourd'hui de disposer d'éléments de compréhension de la dynamique de ces systèmes qui connaissent au cours du temps des évolutions différentes en fonction des conditions pédoclimatiques locales, des situations et des stratégies des agriculteurs.

Les déterminants agro-écologiques et socioéconomiques de la durabilité de ces systèmes agroforestiers et l'évolution de leurs performances dans le temps sont mieux connus. Le développement d'outils d'aide à la décision et de prédiction, basés sur le fonctionnement éco-physiologique des espèces en présence, permet par ailleurs de quantifier différents processus complexes (cycle des nutriments, interception de la lumière, distribution des ressources). Il est alors possible de répondre aux attentes des agriculteurs en leur proposant les pratiques culturelles les plus appropriées pour intensifier, sans toutefois remettre en question leur forte valeur environnementale, les systèmes agroforestiers à base de cacaoyer ou de caféier.

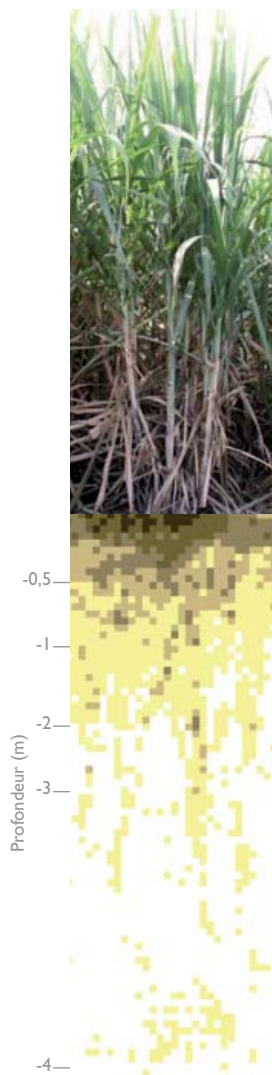
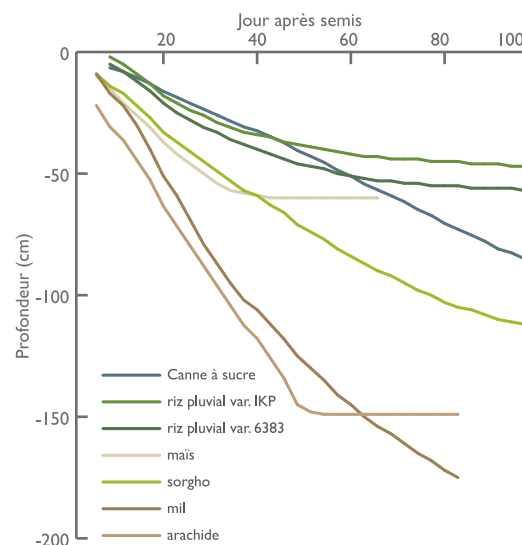
**Contacts : Didier Snoeck, didier.snoeck@cirad.fr
Patrick Jagoret, patrick.jagoret@cirad.fr
Nathalie Lamanda, nathalie.lamanda@cirad.fr
& Dominique Nicolas, dominique.nicolas@cirad.fr**

Le système racinaire : mieux le connaître *in situ* pour optimiser le fonctionnement des cultures

Le système racinaire assure de multiples fonctions parmi lesquelles l'approvisionnement de la plante en eau et en éléments nutritifs, le maintien de la structure du sol et de son statut organique, ou encore la réduction des risques d'érosion. La rhizosphère constitue par ailleurs une niche écologique particulière où l'activité biologique du sol est intense. Ces fonctionnalités sont particulièrement importantes en conditions tropicales de sols pauvres et fragiles. La méthode conventionnelle de mesure par extraction de tranches de sol sous culture permet d'accéder au front racinaire et à la biomasse racinaire. Outre sa lourdeur, cette méthode ne permet pas d'accéder à la distribution spatiale des racines dans le sol.

La méthode mise au point repose sur l'observation de la cartographie des intersections racinaires sur un profil de sol (RID). Cette observation permet d'étudier la distribution des racines dans le sol mais pas d'accéder à la longueur des racines par unité de volume de sol (RLD), or cette variable est utilisée pour analyser et modéliser l'alimentation hydrique des cultures. Afin d'estimer le RLD à partir du RID, des modèles semi-empiriques validés ont été développés sur le maïs, le riz pluvial, le sorgho et la canne à sucre. Un logiciel spécifique a également été mis au point afin de gérer les nombreuses données spatialisées requises par la méthode. La méthode permet de comprendre pourquoi des pratiques culturales - comme le travail du sol, la fertilisation ou encore l'irrigation - ont des effets variables dans le temps et dans l'espace. Ces méthodes d'études de plein champ et leurs résultats doivent aider à la conception et l'évaluation de systèmes de culture durables en milieux secs, ou pauvres en éléments nutritifs ou en carbone. Des études sont en cours, visant à relier les biomasses et les longueurs des racines, afin d'estimer les biomasses et leur répartition à partir de la méthode de cartographie des intersections racinaires.

Contact : Jean Louis Chopart, jean-louis.chopart@cirad.fr



Élaboration d'outils d'analyse du fonctionnement des couverts viticoles



Le couvert végétal est le lieu des échanges de masse et d'énergie entre la plante et l'atmosphère. Il s'agit d'un milieu complexe marqué par une forte hétérogénéité microclimatique. Chez la vigne, de nombreux travaux ont montré que la structure du couvert affectait le rendement au travers de ses effets sur l'interception de la lumière, la photosynthèse et la transpiration. Elle agit également sur la maturation du raisin et sur la qualité des vendanges en modulant l'éclairement et la température des fruits. Adapter cette structure pour répondre, dans un environnement donné, à différents objectifs de production viticole (vin rouge de garde, vin à bas degré d'alcool, moût destiné à la production de jus de fruit...) constitue aujourd'hui un enjeu agronomique majeur.

Les travaux s'appuient sur des méthodes de représentation tridimensionnelle des structures végétales pour élaborer des outils d'analyse adaptés à l'étude du fonctionnement des

couverts viticoles. Un modèle (TOPVINE) a été mis au point qui permet de prévoir, de façon dynamique, la mise en place de leur surface foliaire et sa réponse au déficit hydrique pour différents cépages. Cette surface foliaire est dans un deuxième temps distribuée grâce à une description probabiliste de l'espace prospecté par chaque rameau et du positionnement des feuilles au sein de ce volume. Ainsi décrit, le couvert est vu comme l'assemblage de rameaux représentés sous la forme de « nuages de feuilles ».

Ces outils ont été testés et comparés aux indicateurs de fonctionnement du couvert utilisés actuellement par les professionnels de la filière (par exemple la surface foliaire éclairée) sur une gamme de combinaisons « cépage x mode de conduite » représentative des vignobles de Côtes du Rhône. Les résultats de ces premières simulations mettent en évidence une forte interaction entre l'architecture du cépage et le mode de conduite sur les termes du bilan radiatif, et qui n'était pas perceptible avec les indicateurs utilisés jusqu'à présent.

Contact : Éric Lebon, lebon@supagro.inra.fr

◀ à gauche - Reconstruction de la structure du couvert d'une parcelle de vigne avec le modèle TOPVINE (cépage Grenache, conduite en espalier).

à droite - Maquette 3D de la structure du couvert.



Les SCV, un outil d'ingénierie pour l'intensification écologique

F. Tivet © Cirad

L'intensification écologique suppose que la recherche apporte des solutions pertinentes aux deux enjeux majeurs que sont la nécessité de produire plus alors que les surfaces agricoles diminuent, et de produire mieux afin de protéger l'environnement. L'intensification des processus naturels par les semis directs sous couverture végétale (SCV) permet la restauration de la fertilité chimique, physique et biologique du sol, ainsi que la meilleure expression des potentiels génétiques définissant les niveaux de résistance aux bioagresseurs et les niveaux de productivité.

L'étude de ces processus et leur maîtrise constituent les bases d'une ingénierie appliquée à l'intensification écologique. Il s'agit de mettre en œuvre l'ensemble des méthodologies de diagnostic, de mise au point, d'évaluation et de pilotage de SCV en réponse aux grandes questions de développement des pays du Sud. Par la mise en œuvre des principes de semis direct, de couverture végétale permanente et de réintroduction de la biodiversité fonctionnelle, l'UPR SIA, grâce à son réseau diversifié de partenariat, travaille sur :

- la réhabilitation des sols tropicaux dégradés ;
- l'intensification écologique des agricultures vivrières et commerciales pluviales, des rizicultures inondées à mauvais

contrôle de l'eau et des systèmes à base de cultures pérennes ;

- la mise au point d'outils biologiques favorables aux fonctions systémiques à haute valeur environnementale comme la détoxification des sols, la lutte contre les bioagresseurs, la séquestration du carbone et la construction de SCV répondant au cahier des charges de l'agriculture biologique.

Il s'agit de nouveaux écosystèmes cultivés qui ont une valeur pour l'homme et la biosphère. L'ingénierie repose sur une démarche systémique expérimentale, qui nourrit la recherche thématique et qui, en retour, intègre les avancées de la recherche thématique. Cette démarche privilégie la modélisation biologique qui reconstitue *in situ* et *in vivo* l'ensemble des interactions et des interfaces nécessaires à l'intensification des processus naturels afin de mieux les comprendre, les maîtriser et les piloter.

Contact : André Chabanne, andre.chabanne@cirad.fr

▲ Riz sur résidus de *Stylosanthes guianensis* (Province de Xieng Khouang, Laos).

Produire beaucoup plus avec l'agroforesterie en zone tempérée



▲ Une nouvelle parcelle agroforestière de noyers et de céréales.

sauvages sur la ligne des arbres attirent des auxiliaires qui luttent contre les pucerons des céréales. Plusieurs milliers d'hectares agroforestiers sont désormais plantés chaque année en France et dans une dizaine de pays européens.

Chaque année, chaque hectare agroforestier stocke environ deux tonnes de carbone de plus qu'une parcelle agricole, et une part significative de ce stockage, due à la mortalité annuelle des racines fines des arbres, est un stockage de longue durée. Les systèmes agroforestiers sont un exemple type d'intensification écologique qui ne pénalise pas la productivité tout en procurant des services environnementaux au bénéfice de tous.

Contact : Christian Dupraz, dupraz@supagro.inra.fr

Pour en savoir plus : www.agroforesterie.fr & http://umr-system.cirad.fr/programmes_finalises/systemes_sylvo_arables

Produire autant sur 100 ha qu'avec une exploitation classique de 140 ha ? C'est possible, avec l'agroforesterie, qui consiste à mélanger arbres et cultures dans les parcelles agricoles. Les expériences en cours, complétées par des simulations sur ordinateur, confirment que les systèmes agroforestiers tempérés peuvent être très productifs. Des parcelles mélangées peupliers-céréales produisent 40% de plus que la même surface où les arbres et les cultures sont séparés. La complémentarité des besoins des arbres et des cultures est une des clés de ce succès : des arbres à feuilles caduques tardifs, comme le noyer, associés à des cultures d'hiver précoces, comme le blé, forment le couple idéal. Lumière, eau, azote, sont mieux valorisés par le mélange que par les cultures pures.

Mais d'autres mécanismes plus subtils expliquent ce résultat. La plasticité des systèmes racinaires des arbres, qui s'adaptent à la compétition de la culture en étant plus profonds, améliore leur résistance au stress hydrique estival. La protection climatique des cultures par les arbres peut limiter les stress thermiques de plus en plus fréquents dans le contexte du réchauffement climatique. D'autres interactions entre arbres et cultures font intervenir la biodiversité réintroduite dans la parcelle avec les arbres. Ainsi, les fleurs

Mutations des relations entre producteurs et agro-industriels pour améliorer la qualité de la canne à sucre

Les filières agro-industrielles représentent une source de revenu significative pour les producteurs des pays développés comme en développement. Producteurs et unités de transformation agroindustrielles interagissent au sein de bassins d'approvisionnement pour gérer les flux physiques de matière première agricole, les flux d'information et les outils d'incitation mis en place pour réguler et rémunérer les livraisons en quantité et qualité. Leurs relations dépendent des caractéristiques physiques et biologiques de la matière première, du degré d'atomisation des fournisseurs et des modes de partage de la valeur entre les acteurs impliqués dans la chaîne d'approvisionnement.

Le Cirad a mis en place deux interventions en Afrique du Sud et à La Réunion pour aider industriels et producteurs de canne à sucre à explorer de nouvelles formes de relations permettant d'augmenter la valeur totale produite à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement sucrier. Cette démarche d'accompagnement se base sur la conception et l'utilisation de deux outils de simulation (MAGI® et PEMPA®). Utilisés à l'échelle d'un bassin d'approvisionnement, ces outils permettent de comparer différentes modalités de gestion des flux de canne entre les producteurs et la sucrerie, ainsi que de paiement de la canne, basées sur la qualité. Ces scénarios alimentent les discussions entre producteurs et industriels sur les décisions à prendre en matière d'organisation logistique des flux, d'investissements dans les capacités de production, de transport et de transformation le long de la chaîne, et de partage de la valeur excédentaire créée par les innovations les plus prometteuses.



La démarche permet également d'explorer de nouveaux modes d'organisation, y inclus de nouveaux systèmes de paiement, adaptés à une évolution des produits industriels (production d'énergie, chimie verte). Elle est transposable dans ses principes à une large gamme de filières nécessitant une phase de transformation de la matière première agricole (lait, oléagineux, vin, etc.).

**Contacts : Sandrine Auzoux, sandrine.auzoux@cirad.fr
Caroline Lejars, caroline.lejars@cirad.fr
& Pierre-Yves Le Gal, pierre-yves.le_gal@cirad.fr**

Outils de simulation MAGI® et PEMPA® téléchargeables à :
<http://agri-logistique.cirad.fr>

▲ Coupe manuelle de la canne à sucre en Afrique du Sud.



P.Y. Le Gai © Clind



© J.P. Caliman

▲ *Inventaire des plantes vasculaires dans une plantation de palmier à huile.*

► *Maïs sur résidus de Vigna umbellata (Province de Xieng Khouang, Laos).*

Minimiser l'impact des cultures *sur les cycles biogéochimiques*



Au cours des cinquante dernières années, la production alimentaire mondiale a doublé, permettant quasiment de compenser la forte croissance de la population mondiale. Cette évolution qualifiée de Révolution Verte s'est faite grâce à des variétés améliorées et à un recours croissant aux intrants. Un certain nombre de pays du Sud n'ont cependant pas connu une telle évolution et les récentes émeutes de la faim soulignent l'incapacité de la production agricole à couvrir les besoins alimentaires de ces pays. Par ailleurs, au cours des dernières décennies, et très largement en lien avec cette intensification de l'agriculture, l'homme a modifié les écosystèmes à un point jamais atteint jusque là, comme souligné par le *Millenium Ecosystem Assessment*. Si le bénéfice en termes d'augmentation de la productivité des agro-écosystèmes est incontestable, nombre d'autres services rendus par les écosystèmes se sont trouvés fortement altérés, en particulier les cycles biogéochimiques. Les apports excessifs de fertilisants réalisés en agriculture intensive ont ainsi conduit à des impacts négatifs sur l'environnement. L'azote, nutriment majeur pour les plantes, est susceptible de polluer les nappes phréatiques par transfert vertical dans le sol (lixiviation) lorsque la concentration en nitrate du sol est en excès. Il peut être également à l'origine de l'émission de gaz à effet de serre (protoxyde d'azote). L'excès de phosphore dans les sols peut conduire, suite à son transfert latéral par érosion, à des phénomènes d'eutrophisation des eaux de surface. En outre, la satisfaction des besoins croissants de la population mondiale est en partie couverte par des changements d'usage des terres, en particulier la mise en culture de forêts ou prairies qui conduisent à un déstockage important de carbone contenu dans la matière organique des sols, affectant ainsi le cycle du carbone et conduisant à l'augmentation de l'effet de serre par émission de dioxyde de carbone.

Les modèles prédisent une augmentation de près de 50% de la population mondiale d'ici à 2050. La poursuite des évolutions que notre planète a connues au cours des cinquante dernières années n'est pas durable, de sorte qu'une *révolution doublement verte* doit désormais être accomplie. L'enjeu est de poursuivre l'augmentation de la production agricole mondiale sensiblement au même rythme, tout en préservant désormais les services écosystémiques et, en particulier, en réduisant les impacts négatifs sur les cycles biogéochimiques et la biodiversité.

Les recherches menées par les équipes de la région s'inscrivent dans cet enjeu d'une nécessaire *intensification écologique* des agro-écosystèmes, en particulier dans les contextes méditerranéens et tropicaux, particulièrement soumis aux changements globaux (changements climatiques et changements d'usage des terres). Elles concernent la recherche de génotypes et d'intrants plus efficaces, la conception d'itinéraires techniques et systèmes de cultures innovants permettant d'assurer des productions agricoles plus importantes et plus stables, pour faire face aux changements et aléas climatiques. Parmi ces pratiques, l'utilisation de peuplements plurispécifiques (agroforesterie, cultures associées, etc.) ou de techniques comme le semis direct sous couverture végétale, permettent de jouer sur la complémentarité fonctionnelle des différentes espèces végétales. De nombreuses recherches concernent en outre la gestion de la dynamique des matières organiques, en lien avec le couvert végétal, les communautés microbiennes et la faune du sol. Dans le contexte de l'agriculture périurbaine, le recyclage de ressources en matières organiques diversifiées comprenant des déchets et produits résiduels posent, en outre, la question des effets des micropolluants tels que les métaux qu'ils contiennent. Les recherches conduites visent donc à l'évaluation à la fois des performances agronomiques et des impacts environnementaux des systèmes de culture et techniques étudiés.

Philippe Hinsinger (UMR Eco&Sols)

Minimiser l'impact des cultures sur les cycles biogéochimiques

Les équipes

UMR Eco&Sols
**Écologie fonctionnelle & Biogéochimie
des Sols & Agro-écosystèmes**
(Cirad, Inra, IRD Montpellier SupAgro)
47 scientifiques

Directeur : Jean-Luc Chotte,
jean-luc.chotte@ird.fr
www5.montpellier.inra.fr/ecosols
► Présentation page 20

**UPR Performance des systèmes de
culture des plantes pérennes**
(Cirad)
21 scientifiques
Directeur : Éric Gohet,
eric.gohet@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/systemes_de_perennes
► Présentation page 22

UPR Recyclage et risque
(Cirad)
13 scientifiques
Directeur : Jean-Marie Paillat
dir-recyclage@cirad.fr
<http://ur-recyclage-risque.cirad.fr>
► Présentation page 24

UMR SYSTEM
**Fonctionnement et conduite
des systèmes de culture tropicaux et
méditerranéens**
(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)
21 scientifiques
Directeur : Christian Gary,
dirstystem@supagro.inra.fr
<http://umr-system.cirad.fr>
► Présentation page 52

UPR HortSys
**Fonctionnement Agroécologique
et Performances des Systèmes de
Culture Horticoles**
(Cirad)
30 scientifiques
Directeur : Éric Malézieux,
malezieux@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/hortsys
► Présentation page 32

UPR SCA
Systèmes de cultures annuelles
(Cirad)
60 scientifiques
Directeur : Florent Maraux,
florent.maraux@cirad.fr
<http://ur-sca.cirad.fr>
► Présentation page 10

... suite page 22

Comprendre les flux de carbone et nutriments dans les agro-écosystèmes méditerranéens et tropicaux

La production primaire des écosystèmes terrestres est régulée par l'interception du rayonnement et l'acquisition de ressources dont la plupart sont fournies par les sols (eau et nutriments). Le maintien de cette fonction de production végétale a longtemps reposé, dans les écosystèmes anthropisés, sur la gestion des intrants (minéraux, organiques) et des propriétés physiques et chimiques des sols. Cette stratégie a permis un doublement de la production alimentaire mondiale entre 1960 et 1995, mais elle s'est accompagnée, au cours de la même période, d'une multiplication par près de sept des apports d'intrants fertilisants azotés et par plus de trois de ceux d'engrais phosphatés. Compte tenu des impacts environnementaux de telles pratiques, cette stratégie ne peut constituer une réponse durable à la nécessaire augmentation de la production végétale pour faire face à l'accroissement démographique des décennies à venir.

Dans ce contexte d'augmentation de la productivité primaire, de maîtrise des intrants (chimiques et organiques) et de changements globaux (climatique et d'usage des terres), les objectifs scientifiques de l'unité mixte de recherche *Écologie Fonctionnelle & Biogéochimie des Sols & Agro-écosystèmes* (UMR Eco&Sols, Cirad, Inra, IRD, Montpellier SupAgro) sont

de comprendre, décrire et prévoir les déterminants de la production primaire dans les agro-écosystèmes méditerranéens et tropicaux, et, en particulier, les processus écologiques impliqués dans les services écosystémiques de régulation des flux d'éléments dans ces agro-écosystèmes, notamment carbone et nutriments, azote et phosphore. Sur un plan environnemental, les recherches concernent la séquestration du carbone et l'émission de gaz à effet de serre, d'une part, et l'écodynamique des contaminants biologiques (virus, protéines Bt...) d'autre part. Les travaux réalisés s'inscrivent ainsi dans les initiatives internationales (*Millennium Ecosystem Assessment*) et nationales (Grenelle de l'Environnement) qui concernent les liens entre services des écosystèmes et le bien-être humain.

Pour atteindre ces objectifs, les travaux de l'UMR Eco&Sols s'attachent à préciser l'impact des plantes et des organismes qui vivent dans les sols (racines des plantes, vers de terre, termites, nématodes, champignons, bactéries), ainsi que des interactions entre eux et avec leur milieu, dans les cycles biogéochimiques au sein des agro-écosystèmes. Cette démarche écosystémique centrée sur les communautés fonctionnelles et les réseaux d'interaction est au centre des approches expérimentales de laboratoire (en microcosmes et mésocosmes) et de terrain dont les objectifs finalisés sont le développement d'une ingénierie écologique conciliant objectifs de production agricole durable et de maintien des

Évaluation environnementale globale des produits agricoles et alimentaires : le cas des fruits et légumes

La fonction alimentaire des sociétés humaines représente la principale composante de l'ensemble de leurs impacts environnementaux. La compréhension et, si possible, la quantification des relations entre modes de production et de consommation alimentaire et leurs impacts environnementaux (changement climatique, écotoxicité, eutrophisation, usage de l'eau...) sont devenues indispensables pour permettre leur nécessaire mutation. Des outils d'évaluation globale et harmonisée sont nécessaires soit pour les besoins de l'affichage environnemental des produits consommés en France prévu par la Loi Grenelle 2 (produits locaux ou importés), soit pour l'augmentation de la performance écologique (impact par unité produite) des systèmes de production au Sud.



© Cirad La Réunion

La méthodologie Analyse de Cycle de Vie (ACV), normalisée ISO (14040-14044, 2006), est un cadre conceptuel puissant pour l'évaluation environnementale globale des différentes fonctions nécessaires à l'homme, notamment fondée sur les notions de fonction (et d'unité fonctionnelle), de cycle de vie d'une fonction (cf. figure ci-dessous) et d'évaluation multicritères. Cependant, sa mise en œuvre pour les systèmes de produits agricoles et alimentaires en contexte tropical est très récente et représente de nombreux défis méthodologiques et scientifiques. Le département PERSYST du Cirad a décidé de s'investir dans ce nouveau défi et les filières biomasse-énergie, cultures pérennes, agro-alimentaires, recyclage des déchets

organiques en agriculture, cultures irriguées telles que le riz, productions animales et horticoles, font aujourd'hui l'objet de projets ACV ambitieux visant des développements méthodologiques propres à ce nouveau champ d'application.

Dans ce cadre, l'unité Hortsys s'intéresse, aux impacts environnementaux liés à la réalisation de la fonction nutritionnelle des fruits et légumes, cruciale pour l'équilibre alimentaire des populations au Nord comme au Sud. Un dispositif de recherche est en cours de mise au point, d'une part, sur les produits maraîchers (cas d'étude tomate) et, d'autre part, sur les produits arboricoles (agrumes et mangue), avec des ambitions méthodologiques liées notamment à la prise en compte de la qualité nutritionnelle des produits dans la définition de l'unité fonctionnelle, à l'estimation fiable des émissions directes au champ, à l'évaluation de l'empreinte eau et de la toxicité, et à l'incertitude des résultats.

Contacts : Claudine Basset-Mens, claudine.basset-mens@cirad.fr
Thierry Tran, thierry.tran@cirad.fr
Cécile Bessou, cecile.bessou@cirad.fr
Anthony Benoist, anthony.benoist@cirad.fr
Tom Wassenaar, tom.wassenaar@cirad.fr
Sylvain Perret, sylvain.perret@cirad.fr
& Jonathan Vayssières, jonathan.vayssieres@cirad.fr



▲ Tomates, Ile de la Réunion.

◀ Représentation schématique simplifiée du cycle de vie d'un produit alimentaire, « du berceau à la tombe ».

services environnementaux des agro-écosystèmes. La stabilité et la résilience de ces communautés fonctionnelles au changement climatique et au changement d'usage des terres sont étudiées dans des contextes pédoclimatiques contrastés, méditerranéens et tropicaux, dans le cadre de collaborations avec des centres nationaux de recherche agronomique et des universités du Sud. Ces démarches expérimentales sont fortement associées à une démarche de modélisation à la

fois dédiée à la formalisation des processus biologiques et biogéochimiques déterminant les interactions sols-plantes et à la prédiction des flux dans les agro-écosystèmes.

L'UMR est implantée en France (Montpellier) et dans plusieurs pays tropicaux en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Burkina Faso) et centrale (Congo), à Madagascar, en Asie du Sud-est (Thaïlande) et en Amérique latine (Brésil, Costa Rica). Les principaux agro-écosystèmes étudiés

recouvrent des systèmes céréaliers incluant des légumineuses, et des systèmes de plantations de ligneux pérennes pour la production forestière (eucalyptus et pin maritime), agroforestière (café) ou de latex (hévéa).

L'introduction et la gestion de légumineuses annuelles ou pérennes dans le cadre de peuplements plurispécifiques sont abordées dans des contextes pédoclimatiques et agronomiques variées, à bas niveaux d'intrants notamment. ...



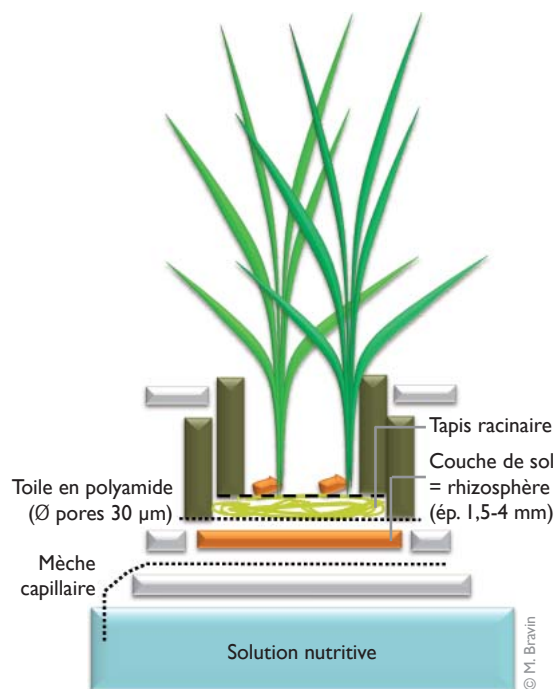
La rhizosphère : une échelle pertinente pour évaluer la phytodisponibilité des éléments traces ?

La place centrale des plantes au sein des agro-écosystèmes rend indispensable l'étude du transfert sol-plante (phytodisponibilité) des éléments traces (ET) en sols agricoles contaminés. Certains ET comme l'arsenic (As) tendent à s'accumuler dans les plantes avec un risque accru de contamination de la chaîne alimentaire. D'autres ET comme le cuivre (Cu) sont principalement phytotoxiques et affectent plutôt le rendement des cultures. Pour évaluer ces risques, les équipes se concentrent sur l'étude de la rhizosphère, cette fine couche de sol (de quelques centaines de micromètres à quelques millimètres d'épaisseur) au contact des racines dont les propriétés physico-chimiques sont fortement influencées par les activités racinaires. Si la rhizosphère peut être étudiée in situ en collectant le sol adhérent aux racines, des dispositifs expérimentaux de laboratoire comme le RHIZOtest, basés sur la séparation physique du sol et des racines, permettent une évaluation plus fine de l'influence des processus rhizosphériques sur la phytodisponibilité des éléments traces.

▲ **Blé dur prélevé in situ et son sol adhérent aux racines représentant la rhizosphère.**

► **RHIZOtest, dispositif expérimental de laboratoire permettant d'évaluer l'influence des processus rhizosphériques sur la phytodisponibilité des éléments traces.**

Dans le sud-est asiatique, la forte disponibilité de As apporté par les eaux d'irrigation dans les sols de rizière submergés, laisse craindre une forte phytodisponibilité de As. Dans ces conditions de sol réductrices, le riz favorise cependant la formation d'une gangue d'oxyhydroxydes de fer à la surface des racines qui tend à séquestrer As dans la rhizosphère et à limiter sa phytodisponibilité. En Languedoc-Roussillon, les processus rhizosphériques permettent également de comprendre l'émergence d'une phytotoxicité de Cu chez le blé dur dans certains sols à antécédent viticole. En sols très acides, la plante diminue la phytodisponibilité de Cu en alcalinisant fortement sa rhizosphère. À l'inverse, en sols calcaires, les exsudats racinaires émis par la plante dans sa rhizosphère exacerbent la phytodisponibilité de Cu et favorisent ainsi sa phytotoxicité. Ces deux exemples soulignent ainsi la pertinence des études centrées sur les processus rhizosphériques pour évaluer la phytodisponibilité des ET.



**Contacts : Matthieu Bravin, matthieu.bravin@cirad.fr
Emmanuel Doelsch, doelsch@cirad.fr & Philippe Hinsinger, hinsinger@supagro.inra.fr**

Les équipes

**UPR SIA Systèmes
et ingénierie agronomique**
(Cirad)

13 scientifiques

Directeur : Jean-Claude Legoupil,
jean-claude.legoupil@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/couverts_permanents

► Présentation page 12

**UPR Systèmes de culture bananiers,
plantains, ananas**
(Cirad)

18 scientifiques

Directeur : Jean-Michel Risède,
michel.risede@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/systemes_bananes_ananas

► Présentation page 34

**UR PSH
Plantes et Systèmes
de culture Horticoles**
(Inra)

28 scientifiques

Directeur : Michel Génard,
michel.genard@avignon.inra.fr
www4.paca.inra.fr/psb

► Présentation page 8

Développement de systèmes de production à base de cultures pérennes tropicales

L'UPR *Performance des systèmes de culture des plantes pérennes* (Cirad) se positionne sur le champ de l'agronomie des cultures pérennes tropicales : palmier à huile, hévéa, cacaoyer, caféier et cocotier. Elle aborde les systèmes techniques de la production agricole à différentes échelles : système de culture, système de production, exploitation agricole, plantation industrielle, site agro-industriel, bassin d'approvisionnement d'une unité de transformation, agro-écosystème, etc.

Les défis du millénaire imposent un accroissement durable des revenus et des productions agricoles, ceci

dans un contexte de plus en plus contraint de surfaces agricoles, de population croissante et de changement climatique. L'ambition de l'unité consiste donc à répondre à cette nécessité, tout en considérant l'impact environnemental et social des systèmes préconisés, pour les petites plantations familiales comme pour les agro-industries.

En réponse à ces enjeux, l'unité travaille à l'accroissement durable de la productivité des systèmes de production à base de plantes pérennes tropicales. Pour ce faire, elle développe un projet scientifique pluridisciplinaire et aborde simultanément les domaines de la physiologie (fonctionnement de la plante), de l'écophysiologie (plante en interaction dans son environnement biophysique et climatique), de l'agronomie (optimisation des pratiques culturales et valorisation

des gains génétiques), de l'écologie (évaluation des impacts et services environnementaux) et de la socio-économie (modalités d'adoption des systèmes par les acteurs, fonctionnement des exploitations).

L'objectif global de l'unité est de développer des connaissances et des outils permettant in fine aux producteurs d'optimiser leurs systèmes de production en conjuguant les critères de durabilité :

- agronomiques (optimisation technico-économique de la production) ;
- socio-économiques (profitabilité économique et acceptabilité sociale) ;

- environnementaux (impacts et services écologiques).

Les activités de l'unité sont développées en partenariat avec les secteurs public et privé, dans un but finalisé. En effet, les recherches s'effectuent en collaboration avec des unités de recherche du Cirad, de l'Inra et de l'IRD, des universités, des structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires du Sud et des partenaires privés (groupements de producteurs, groupes agro-industriels). Des opérations d'ingénierie ou d'expertise répondant à des demandes d'opérateurs privés ou institutionnels

sont également menées et génèrent des ressources propres significatives pour l'unité et pour le Cirad. Ces activités d'expertise-conseil mobilisent environ sept équivalents temps plein de cadres scientifiques par an.

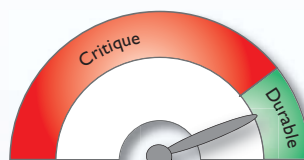
L'unité souhaite poursuivre ses activités dans les années à venir, en focalisant son projet sur deux principaux axes de recherche :

- Axe 1 : performances agro-économiques des systèmes techniques de production
- Axe 2 : performances environnementales et sociales des systèmes techniques de production. ...

Indicateurs d'impacts environnementaux en plantation de palmier à huile

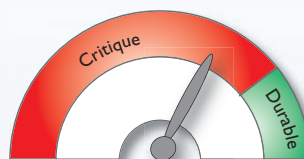
Comprendre et mesurer les impacts environnementaux d'une production agricole est indispensable à l'optimisation des systèmes vers une production durable. Cet enjeu se révèle crucial dans le cas du palmier à huile. En effet, la demande mondiale croissante d'huile de palme accentue rapidement la pression sur les ressources naturelles. Le Cirad développe depuis 2004 des indicateurs agri-environnementaux destinés à aider les planteurs à réduire leur impact environnemental en modifiant leurs pratiques. Des indicateurs de la méthode INDIGO® ont été adaptés pour le palmier à huile. Ces indicateurs sont conçus sur la base d'une modélisation des émissions et impacts potentiels, et validés par des données de terrain. Un système de notation, développé à partir des connaissances scientifiques et de l'expertise de terrain, permet de classer les pratiques entre 0 (risque important pour l'environnement, pratique à changer) et 10 (situation optimale, sans risque), 7 étant défini comme le seuil de durabilité.

Ces systèmes de notations, qui sont déjà opérationnels pour quatre premiers indicateurs (fertilisation azotée, phytosanitaire, matière organique et couverture du sol), ont été regroupés pour leur calcul dans une base de données disposant d'une interface graphique conviviale : le logiciel « Ipalm ». Les planteurs qui adoptent « Ipalm » peuvent déjà établir un diagnostic environnemental de leur plantation, puis raisonner l'amélioration de leurs pratiques grâce à des simulations. Les travaux de recherche se poursuivent en amont sur le fonctionnement des agro-écosystèmes pour alimenter le développement de nouveaux indicateurs et leur validation dans des conditions variées (climats, sols, pratiques agricoles, etc.). L'équipe se focalise notamment sur la production d'indicateurs de l'impact des pratiques sur la biodiversité d'une part, et sur la qualité des eaux d'autre part, en élargissant son approche de l'évaluation environnementale à



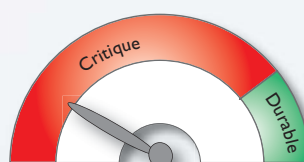
Mineral soil - Iphy-palm

Recommendation :
Practice already globally sustainable



Peat soil - Iphy-palm

Recommendation :
Practice globally NOT sustainable



Peat soil - Rsur

Recommendations :
- Practice induces an extremely high contamination risk on surface water
- Avoid spraying close to drains

l'échelle du paysage. À plus long terme, l'intégration d'indicateurs d'impacts socio-économiques est envisagée pour répondre aux enjeux multiples de la durabilité.

Contacts : Jean-Pierre Caliman, jean-pierre.caliman@cirad.fr
Aude Verwilghen, aude.verwilghen@cirad.fr
& Cécile Bessou, cecile.bessou@cirad.fr

▲ Exemple de résultats de l'indicateur Iphy-palm (indicateur « phytosanitaire » de la méthode Ipalm).

► Paysage et usages du sol.

Les semis directs sur couverture végétale permanente (SCV) et la séquestration du carbone

Les sols contiennent plus de carbone que la végétation terrestre et l'atmosphère combinées. Ils représentent en tant que tel un réservoir de carbone critique fortement dépendant du mode d'usage des terres. Les pratiques agricoles ont contribué à l'appauvrissement du stock de carbone organique. À l'échelle de la parcelle, la diminution des stocks de carbone est attribuée à trois processus : 1) l'oxydation due à la perte de cohésion des sols exposant le carbone aux variations de température et d'humidité, 2) les transferts tels que le lessivage et la translocation de carbone organique dissous ou de carbone organique particulaire et 3) l'érosion hydrique et éolienne. L'augmentation du carbone organique du sol est alors primordiale pour une gestion agronomique durable.

Des SCV à forts inputs carbonés annuels permettent de récupérer des terres agricoles dégradées, de restaurer la fertilité des sols et de favoriser la diversité au sens large (productions, macrofaune et microflore des sols). Sous les conditions tropicales humides, la régénération de la matière organique et des propriétés physiques et biologiques peut être aussi rapide et importante que les pertes occasionnées par le travail intensif continu du sol. Il faut entre 10 et 15 t/ha/an d'entrées de résidus de matière sèche dans le système, en fonction du niveau de fumure minérale, pour maintenir un équilibre stable en carbone. Les meilleurs SCV produisent entre 15 et 28 t/ha/an de biomasse sèche permettant une régénération de la matière organique, une amélioration des attributs physiques (agrégation, infiltration), chimiques (capacité d'échange cationique,



A. Chabanne © Cirad

▲ Restauration des sols dégradés par les plantes de couverture (Province du Yunnan, Chine).

recyclage des éléments nutritifs, pouvoir tampon) et biologiques (diversité de la macrofaune et des populations microbiennes). Ces systèmes, construits sur des productions élevées de biomasse annuelles et une diversité fonctionnelle en croissance active (y compris en saison sèche), montrent des capacités de séquestration de carbone supérieures aux systèmes conventionnel.

Contacts : Lucien Séguy, seguy@wanadoo.fr & Florent Tivet, florent.tivet@cirad.fr

Recyclage des matières organiques et déchets par les pratiques agricoles

L'UPR Recyclage et risque (Cirad) a pour objectif de proposer des solutions pour recycler les matières organiques et les déchets par des pratiques agricoles à risques agro-environnementaux contrôlés, et utilisant au mieux le pouvoir épurateur du sol et de la plante. Elle aborde cette problématique en s'investissant dans des thèmes de recherche allant de l'étude des processus biophysiques de transfert et de transformation des matières organiques et des déchets à la modélisation et la gestion intégrée des stocks et des flux de matière de la parcelle au territoire.

L'UPR comprend plusieurs sites dont les deux principaux sont à Montpellier et à La Réunion. Les autres implantations sont réalisées dans le cadre de conventions : (i) à Aix en Provence avec le Centre Européen de Recherche et d'Enseignement des Géosciences de l'Environnement (deux chercheurs), (ii) à Rennes avec l'UMR Sol, Agro et hydrosystème Spatialisation (Inra, un chercheur)

et (iii) au Vietnam à Hanoï avec le *National Institute of Animal Husbandry* (un chercheur).

L'UPR est organisée autour de deux axes scientifiques :

- Axe 1. Gestion des produits résiduels organiques hors sol et dans les territoires (du niveau de l'atelier à celui du territoire)
- Axe 2. Étude des interactions produits résiduels organiques-sols-cultures (du niveau moléculaire à celui de la parcelle)

Elle s'appuie en outre sur des plateformes (analytiques ou expérimentales) sur chacun des sites principaux.

Le thème de recherche « Modélisation et analyse de flux de matières à l'échelle de territoires » (axe 1) vise à développer des modèles permettant de simuler les systèmes de production agricoles ayant recours au recyclage et de les évaluer à l'aune des objectifs du développement durable, prenant en compte deux niveaux d'organisation : l'exploitation (gestion individuelle) et les ensembles organisés d'exploitations (gestion collective). Le thème de recherche « Dynamiques d'interaction entre produits résiduels organiques,

sols et cultures » (axe 2) vise à étudier la dynamique des éléments traces métalliques et des nitrates en interaction avec le système de culture et le type de sol à trois échelles différentes : régionale, parcelles expérimentales et laboratoire (rhizosphérique et moléculaire).

À La Réunion, l'UPR collabore étroitement avec les collectivités territoriales et, en premier lieu, la Région de La Réunion. À Montpellier, elle a noué des partenariats originaux avec des entreprises privées, en particulier *Phalippou Frayssinet*, premier fabricant d'engrais organique en France.

Les ressources financières proviennent principalement du secteur public, de moyens complémentaires « nationaux » (Agence nationale de la recherche, ministères autres que celui de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, ministère de l'Outre-mer, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). Les ressources liées à l'activité à La Réunion proviennent de la Communauté européenne et des collectivités territoriales. Le secteur privé et les expertises contribuent également à l'équilibre financier de l'UPR. ■

Modélisation intégrée des pratiques et des flux de biomasse dans les systèmes de production agricole



▲ Vue d'une exploitation bovine dans les Hauts de la Réunion.

© J.M. Médoc

« Mafate » est une démarche de modélisation et d'analyse de flux de matières à l'échelle d'exploitations agricoles et de territoires, conçue pour représenter les pratiques des agriculteurs et tester des stratégies de gestion. Elle comporte quatre étapes : (i) l'acquisition de connaissances sur les pratiques, (ii) leur représentation conceptuelle (modèles d'action, typologies), (iii) la construction de modèles de simulation, (iv) l'utilisation de ces modèles pour évaluer le fonctionnement des systèmes de production concernés. Plusieurs modèles ont été réalisés. Ils partagent tous une représentation et un objectif communs : la simulation de transferts de matière entre des unités productives représentées par des stocks, connectés par des flux, eux-mêmes contrôlés par des actions :

■ « Magma » a été conçu pour simuler la gestion des effluents dans des exploitations d'élevage de La Réunion. Il a été adapté pour représenter le cas d'exploitations familiales au Vietnam comportant élevages porcins, cultures, étangs piscicoles et biodigesteurs traitant les déjections.

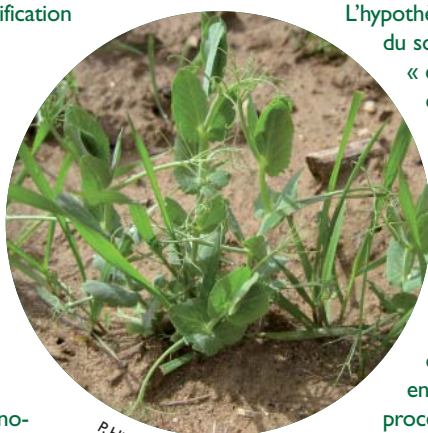
- « Biomas », réalisé en partenariat avec l'Université de La Réunion, permet de simuler les transferts d'effluents entre exploitations excédentaires et déficitaires dans des territoires. Il a été paramétré sur le territoire du Petit-Grand Tampon à la Réunion.
- « Approzut » a été utilisé pour étudier l'approvisionnement d'unités de traitement de lisiers porcins à La Réunion (Grand Ilet, Saint-Joseph).
- « Comet » sert à évaluer, aux plans logistique et environnemental, un plan d'épandage collectif d'effluents porcins concernant plusieurs dizaines d'exploitations d'élevage et de prêteurs de terres dans le Sud-est de l'Ille-et-Vilaine.
- « Gamede » (réalisé par J. Vayssières au cours de sa thèse dans l'UPR Systèmes d'élevage), permet de simuler l'ensemble des flux azotés dans les exploitations réunionnaises bovin-lait.

Les recherches se poursuivent plus particulièrement sur l'évaluation environnementale des systèmes de production simulés et la représentation des activités des agriculteurs.

Contacts : François Guerrin, francois.guerrin@cirad.fr, Jean-Michel Médoc, jean-michel.medoc@cirad.fr & Jean-Marie Paillat, jean-marie.paillat@cirad.fr

Partage des ressources en nutriments majeurs et facilitation en cultures associées céréales-légumineuses : exemple du phosphore

Dans le contexte d'une nécessaire intensification écologique des agro-écosystèmes, la problématique du phosphore est particulièrement préoccupante, compte tenu du caractère fini de la ressource en phosphates naturels, principale source d'engrais phosphatés. La pénurie de ces engrais sera un problème majeur à échéance de quelques décennies, et il est urgent de trouver des solutions. Parmi les innovations prometteuses, l'UMR Eco&Sols a initié un vaste programme de recherche sur l'intérêt des cultures associées, comparativement à des peuplements mono-spécifiques, pour une meilleure valorisation des ressources en nutriments du sol. De nombreux travaux antérieurs ont montré l'intérêt de cultures associées céréales-légumineuses pour augmenter la productivité, mais aussi la qualité de la production céréalière (teneur en protéines) et l'utilisation de l'azote, en particulier de l'azote atmosphérique grâce à une fixation symbiotique plus efficace. C'est un des facteurs qui expliquent le succès de tels systèmes dans les agricultures du Sud ou en Chine qui compte 25 millions d'hectares de cultures associées.



P. Hinsinger © Inra

L'hypothèse formulée est que, outre l'azote, le phosphore du sol peut être mieux valorisé par une association « céréale-légumineuse » que par chacune des composantes cultivée isolément. Les travaux de l'UMR Eco&Sols ont montré que les légumineuses (diverses espèces de légumineuses à graines testées) et les céréales (blé dur) utilisent différents pools de phosphore (organique/inorganique) du sol. Ainsi, en jouant sur cette complémentarité fonctionnelle, les deux espèces exploitent mieux les ressources du sol. Les travaux, en particulier dans le contexte de l'essai de fertilisation phosphatée de longue durée (40 ans en 2009) de l'Inra de Toulouse, ont aussi révélé des processus de facilitation entre les espèces associées : la légumineuse semble capable d'augmenter la disponibilité en phosphore dans la rhizosphère du blé dur associé. L'effort de recherche consiste actuellement à comprendre les processus sous-jacents afin de raisonner les associations les plus performantes, en particulier dans un contexte de faible niveau de recours aux intrants tels que les engrais phosphatés.

Contact : Philippe Hinsinger, philippe.hinsinger@supagro.inra.fr

▲ Culture associée « pois-blé dur » dans l'essai de fertilisation phosphatée de longue durée de l'Inra de Toulouse-Auzeville



▲ Suivi des émissions de N_2O et des paramètres-clés afférents dans un système de culture SCV associant maïs et soja (Matrice expérimentale SCRiD, Madagascar).

© E. Blanchart

Émission d'oxyde nitreux en fonction des modes de gestion du couvert dans des agro-écosystèmes de Madagascar

À Madagascar, les pratiques de semis direct sous couverture végétale permanente (SCV) se sont développées comme une alternative aux systèmes conventionnels, fondés sur le labour, qui peinent à répondre aux enjeux majeurs de conservation des sols, de protection de l'environnement et de sécurité alimentaire. Les systèmes de SCV associent non-labour et gestion des matières organiques (résidus de récolte laissés sur le sol sous forme de mulch ou plantes de couverture vive). Le stockage du carbone dans le sol et la réduction des émissions de gaz à effet de serre tels que le méthane et l'oxyde nitreux dépendent des choix faits dans les modes de gestion. De nombreux travaux, y compris ceux de l'UMR Eco&Sols, ont permis de montrer le fort potentiel des systèmes de SCV en termes de stockage de carbone. Concernant les émissions de gaz à effet de serre, comprendre les mécanismes et quantifier les changements induits par les modes de gestion pour l'oxyde nitreux (N_2O) est de première importance, puisque son potentiel de réchauffement global sur 100 ans est 300 fois supérieur à celui du dioxyde de carbone.

Pour évaluer l'impact du mode de gestion sur les émissions de N_2O , l'UMR Eco&Sols s'est appuyée sur les sites expérimentaux mis en place sur les Hautes Terres malgaches par ses partenaires locaux, l'URP SCRiD (Systèmes de Culture et Rizicultures Durables, Cirad - Fofifa - Université d'Antananarivo) et l'ONG Tafa (TAny sy Fampandrosoana / Terre et Développement). Les travaux incluant un suivi in-situ des émissions gazeuses, et des paramètres édaphiques pouvant réguler les processus-clés à l'origine de ces émissions, ont permis de mettre en évidence la faiblesse des émissions de N_2O , son lien avec une réserve limitée en azote minéral dans ces sols ferralitiques, et surtout l'absence de différence entre pratiques de SCV et labour traditionnel.

Contacts : Lydie Chapuis-Lardy, lydie.lardy@ird.fr
Jacqueline Rakotoarisoa, j.rakotoarisoa@cirad.mg
& Tantely Razafimbelo, tantely.razafimbelo@ird.fr

▲ Mesure des flux de CO_2 émis par
respiration du sol sous plantation
d'eucalyptus au Brésil.



Y. Nouvellon © UVR Eco&Sols



© J.P. Caliman

▲ *Application de désherbant autour d'un palmier à huile.*

► *Chenille d'*Helicoverpa armigera* sur pois d'angole en bordure de parcelle de tomate.*

Réguler les populations *de bioagresseurs et optimiser* l'usage des produits phytosanitaires



Parmi les contraintes qui pèsent sur l'agriculture, les maladies et les ravageurs (regroupés sous le terme de « bioagresseurs ») rendent nécessaire le développement de méthodes à la fois toujours plus innovantes, respectueuses de l'environnement et efficaces, afin de limiter les dégâts et donc les pertes occasionnées. L'agriculture implique le regroupement de plantes d'une même espèce sur un espace limité : le champ, la parcelle. Ce regroupement induit une plus grande vulnérabilité des plantes qui s'y trouvent. En effet, la propagation d'une maladie, ou même d'un ravageur, se trouve favorisée par le regroupement des plantes sur un espace limité où une continuité existe entre les plantes d'une même espèce. L'intensification de l'agriculture, avec pour corollaire l'homogénéisation des champs, l'augmentation des densités, l'utilisation de variétés fixées, voire de clones, a ainsi favorisé l'émergence de grandes épidémies et le développement rapide de certains ravageurs.

Dans un premier temps, la réponse à ces contraintes sanitaires fût chimique. Le développement des industries chimiques, les enjeux économiques que représentaient les grandes filières agronomiques, ont en effet permis la création et la mise sur le marché de molécules « efficaces » pour contrôler les principaux bioagresseurs des cultures. Mais ces derniers se sont adaptés aux traitements chimiques, ces traitements ayant permis la survie des individus les plus résistants et donc une sélection de résistances. Au fur et à mesure de l'apparition de résistances à certains produits phytosanitaires, de nouvelles molécules ont été proposées, mais de nouvelles résistances apparaissaient, entraînant une prolifération de produits phytosanitaires. Ce fût le début d'une escalade entre « apparition de nouvelles résistances » et « proposition de nouvelles molécules », parfois accompagnées d'une augmentation des doses et des concentrations. La conséquence de cette surenchère a été une pollution des environnements et des produits consommables présentant toujours plus de résidus de pesticides.

Une réflexion a donc démarré sur la « lutte intégrée » dont le principe est d'apporter une réponse « multifactorielle » à un problème lié à des bioagresseurs. Pour cela, une combinaison entre (i) mesures agronomiques, (ii) sélection de matériel végétal résistant, ou moins sensible, (iii) lutte biologique en utilisant des « auxiliaires » ou agents biologiques antagonistes aux bioagresseurs, (iv) piégeage, dans le cas de certains ravageurs, et (v) lutte chimique lorsque celle-ci s'avère indispensable, est donc proposée en fonction des espèces cultivées et des bioagresseurs existants. La gestion des systèmes de culture et des bioagresseurs associés est ainsi devenue flexible et adaptée aux diverses situations rencontrées. Cependant, la lutte chimique demeure encore aujourd'hui le moyen de lutte privilégié pour de nombreuses cultures, car elle est économiquement intéressante et simple à mettre en œuvre. Les préoccupations environnementales - encore récentes pour le grand public - n'ont toujours pas engendré de changements radicaux dans les pratiques de contrôle des bioagresseurs. La mise en place et l'extension des marchés « bios » et « équitables », sous l'influence des consommateurs, font cependant émerger de nouvelles pratiques dès lors que des alternatives à la lutte chimique existent. La recherche s'implique de plus en plus dans la mise au point de méthodes alternatives à la lutte chimique, et l'analyse ainsi que la gestion des risques liés aux bioagresseurs sont devenues des enjeux importants pour la plupart des équipes travaillant sur les systèmes de culture. La régulation des populations de bioagresseurs est ainsi au cœur des projets de recherche de plusieurs unités de recherche situées sur le campus d'Agropolis International.

Christian Cilas (UPR Bioagresseurs : analyse et maîtrise du risque)

Réguler les populations *de bioagresseurs et optimiser* l'usage des produits phytosanitaires

Les équipes

UPR HortSys
**Fonctionnement Agroécologique
et Performances des Systèmes de
Culture Horticoles**
(Cirad)
30 scientifiques
Directeur : Éric Malézieux,
malezieux@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/hortsys
► Présentation page 32

**UPR Bioagresseurs : analyse et maîtrise
du risque**
(Cirad)
12 scientifiques
Directeur : Christian Cilas,
christian.cilas@cirad.fr
www.cirad.fr/nos-recherches/unites-de-recherche/bioagresseurs-analyse-et-maitrise-du-risque
► Présentation page 30

**UPR Systèmes de culture bananiers,
plantains et ananas**
(Cirad)
18 scientifiques
Directeur : Jean-Michel Risède,
jean-michel.risede@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/systemes_bananes_ananas
► Présentation page 34

UMR Innovation
**Innovation et développement
dans l'agriculture et l'agroalimentaire**
(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)
51 scientifiques
Directeur : Christophe Soulard,
soulard@supagro.inra.fr
<http://umr-innovation.cirad.fr>
► Présentation page 50

UMR SYSTEM
**Fonctionnement et conduite
des systèmes de culture tropicaux et
méditerranéens**
(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)
21 scientifiques
Directeur : Christian Gary,
dirsistem@supagro.inra.fr
<http://umr-system.cirad.fr>
► Présentation page 52

... suite page 32

Épidémiologie et dynamique des bioagresseurs

Les travaux de l'UPR *Bioagresseurs : analyse et maîtrise du risque* (Cirad) sont centrés sur l'épidémiologie et la dynamique des populations de bioagresseurs. Ils permettent d'élaborer des modèles « plantes-bioagresseurs » pour les principaux organismes nuisibles qui affectent les principales cultures pérennes tropicales. L'épidémiologie, la dynamique des populations de bioagresseurs, la recherche de résistances durables, la recherche de méthodes de lutte alternative à la lutte chimique, constituent l'essentiel des activités menées par l'unité.

L'UPR collabore avec l'Université de Perpignan via Domitia et l'Association Francophone de Protection des Plantes pour étudier les pratiques agricoles du Sud (notamment les traitements chimiques) et les résidus de pesticides au niveau des produits commercialisés et de l'environnement. L'objectif de l'unité est, en effet, d'arriver à une régulation efficace des populations de bioagresseurs avec des méthodes de contrôle les moins préjudiciables pour l'environnement et la santé humaine. Il s'agit donc de proposer des compromis satisfaisant à la fois les producteurs et les consommateurs, et d'arriver à une gestion efficace des risques liés aux bioagresseurs.

Les activités de l'unité s'organisent autour de deux questions de recherche principales :

- mieux comprendre et modéliser les épidémies et les dynamiques des populations de ravageurs de manière à évaluer l'impact de différentes interventions agronomiques sur les populations de bioagresseurs et sur les dégâts induits ;
- identifier des résistances durables dans le matériel végétal et estimer leur impact dans le contrôle des bioagresseurs en milieu réel.

Les modèles « plantes / bioagresseurs » étudiés concernent quelques-uns des principaux organismes nuisibles des cultures pérennes tropicales : cacaoyer, caféier, cocotier, hévéa, palmier à huile.

Les recherches s'appuient sur des réseaux de dispositifs expérimentaux pour la construction et l'évaluation de résistances durables ainsi que pour les études épidémiologiques. L'identification et la hiérarchisation des facteurs influençant l'intensité des attaques des bioagresseurs ou des symptômes, s'appuient sur des observations, des enquêtes et des essais participatifs *in situ*, dans des réseaux de parcelles conduites en milieu paysan ou en plantations privées.

Les actions de recherche sont conduites en partenariat avec des organisations internationales (*International Plant Genetic Resources*

▲ *Symptômes de la Maladie des Raies Noires (Mycosphaerella fijiensis) sur une feuille de bananier.*

Diversité organisée et dynamique des bioagresseurs

Les communautés biologiques présentes au sein des écosystèmes terrestres cultivés influent sur leur productivité et leur durabilité, directement - cas des bioagresseurs - ou indirectement - cas des « ingénieurs du sol » ou des transformateurs de litière. L'hypothèse de travail est que la réintroduction et la promotion de la biodiversité dans les agrosystèmes peu diversifiés peuvent contribuer à en améliorer le fonctionnement et les capacités d'autorégulation au travers du renforcement de fonctions écologiques ou de services écologiques, sans recourir de façon permanente et massive aux pesticides.

La diversité liée aux peuplements végétaux est un facteur-clé pour freiner le développement des bioagresseurs et structurer les communautés biologiques par les ressources et l'habitat. La création de discontinuités dans les monocultures a des effets contrastés sur l'abondance, la dispersion et le développement des bioagresseurs. L'unité a ainsi sélectionné plusieurs plantes non-hôtes du nématode phytoparasite du bananier, *Radopholus similis*, utilisables comme culture de rente, fourrages ou plantes de couverture. Les jachères se montrent efficaces vis-à-vis de *R. similis* mais favorisent dans le même temps, à l'échelle de l'exploitation, la dissémination spatiale du charançon *Cosmopolites sordidus*. Ceci a conduit à développer des études de dispersion de ce second bioagresseur en fonction de l'agencement spatial du système de culture (SdC) et une stratégie de piégeage de masse dans les jachères assainissantes à l'aide de pièges à phéromones.

La diversité liée à la faune et à la flore présentes dans l'agrosystème, a des effets bénéfiques pour la plante et peut constituer un élément-clé de la qualité biologique des sols. Les vers de terre géophages de l'espèce *Pontoscolex corethurus*, peuvent stimuler la croissance foliaire et racinaire des bananiers et avoir une incidence sur leur nutrition azotée ou minérale. Cette diversité associée peut aussi faciliter la gestion de certains bioagresseurs.

La limitation de la dispersion des bioagresseurs par l'agencement spatial du SdC apparaît comme un des leviers importants qui pourrait permettre de contrôler leur développement. Cette étude sera poursuivie à différentes échelles en partant des systèmes les plus simples basés sur l'organisation spatio-temporelle d'une seule variété et d'une seule culture pour étudier ensuite le cas de mélanges multi-variétaux et multi-espèces. Les liens trophiques pouvant exister entre les bioagresseurs et les autres entités fonctionnelles des communautés seront également étudiés. Les connaissances acquises seront intégrées dans un modèle de simulation des réseaux trophiques permettant de représenter les interactions et les régulations en jeu, afin de les optimiser et de proposer des SdC plus durables.

Contacts : Jean-Michel Risède, jean-michel.risede@cirad.fr & Philippe Tixier, philippe.tixier@cirad.fr

Institute, Global coconut research for development programme, International Rubber Research and Development Board...), des structures nationales de recherche (Institut de Recherche Agricole pour le Développement, Instituto del Café de Costa Rica, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária...) et avec des opérateurs de développement. Des collaborations transversales sont établies avec d'autres unités de recherche présentes sur le campus d'Agropolis.

L'UPR produit ainsi de nouvelles connaissances dans le domaine de la biologie et de l'écologie des bioagresseurs, de l'épidémiologie végétale et des résistances durables. Ces travaux sont valorisés par la diffusion de nouvelles méthodes de prévision et de maîtrise des risques biotiques et par l'identification de résistance durable aux bioagresseurs.

L'unité couvre donc le champ traditionnel de la défense des cultures, pour des plantes pérennes

tropicales souvent cultivées dans des conditions de pressions parasitaires très fortes, pressions qui s'accroissent généralement au fur et à mesure du vieillissement des vergers. Son originalité réside dans le caractère pluridisciplinaire des recherches entreprises qui associent, entre autres, l'épidémiologie, la dynamique des populations, la génétique, l'écologie du paysage, la biostatistique, sur des terrains variés et à des échelles allant de l'arbre au paysage. ●●●

Effets des arbres d'ombrage sur les bioagresseurs du caféier Arabica



J. Avelino © Cirad



J. Avelino © Cirad

▲ En haut - Cafetière en plein ensoleillement ravagée par la rouille en Papouasie Nouvelle.

En bas - Cafetière sous ombrage au Costa Rica : l'ombrage réduit les risques liés à la rouille.

Le caféier Arabica (*Coffea arabica*) peut être cultivé en monoculture, généralement dans des systèmes intensifs. Il est le plus souvent cultivé sous ombrage dans des systèmes agroforestiers qui vont de la simple association de deux espèces ligneuses aux systèmes complexes proches des écosystèmes naturels. La vulnérabilité des systèmes cultivés modernes, notamment vis-à-vis des bioagresseurs, a été en partie attribuée à l'appauvrissement de la biodiversité. Les travaux réalisés montrent comment la caféiculture sous ombrage permet de mieux lutter contre les bioagresseurs.

Les arbres d'ombrage modifient le microclimat et la qualité du sol des caféières. Ces modifications peuvent altérer le développement des bioagresseurs par des effets directs sur leur cycle de vie, ou indirects via les mécanismes de défense du caféier et la stimulation des chaînes trophiques. Mais la culture sous ombrage n'entraîne pas toujours de moindres risques parasitaires. Les effets varient en fonction des organismes et de leurs besoins. Ainsi, des modifications du microclimat défavorables au développement de l'anthracnose des baies (*Colletotrichum kahawae*) peuvent être au contraire favorables au développement de la maladie de la tache américaine (*Mycena citricolor*) et à celui du scolyte (*Hypothenemus hampei*). Des effets opposés sont aussi trouvés pour un même organisme à différentes étapes de son cycle de vie. Les arbres d'ombrage tendent ainsi à réduire la charge fructifère des caféiers et diminuent par ce biais leur réceptivité à la rouille orangée (*Hemileia vastatrix*) mais en même temps créent des conditions d'humectation et de température des feuilles favorables à la germination et à la pénétration du champignon. La gestion des arbres d'ombrage, en vue de lutter contre les bioagresseurs, doit donc être pensée en fonction de l'ensemble des organismes nuisibles présents, en recherchant le point d'ombrage d'équilibre qui permette, dans les environnements considérés, de stimuler les mécanismes écologiques de lutte d'intérêt tout en minimisant d'éventuels effets négatifs.

Contact : Jacques Avelino, jacques.avelino@cirad.fr

Pour des systèmes de culture horticoles durables au Sud

L'horticulture est une composante essentielle de la sécurité et de l'équilibre alimentaire mondial. Le défi global consiste à concilier une production horticole suffisante pour satisfaire une demande mondiale en croissance, permettre le développement économique et social des paysans des pays du Sud, tout en assurant la préservation de l'environnement et la limitation des risques pour la santé humaine et les écosystèmes.

Dans ce contexte, l'UPR *Fonctionnement Agroécologique et Performances des Systèmes de Culture Horticoles* (HortSys, Cirad) a priorisé deux orientations scientifiques principales : (i) la connaissance et la modélisation du fonctionnement agroécologique des systèmes de culture horticoles, avec une priorité donnée à la dynamique des bioagresseurs dans l'agrosystème, (ii) la capacité à évaluer les performances des systèmes selon des critères variés, à faire évoluer ces systèmes vers

des systèmes plus durables et à en concevoir de nouveaux.

L'objectif général de l'unité est de contribuer à élaborer les bases scientifiques d'une agroécologie des systèmes horticoles puis de mobiliser ces connaissances selon les principes de l'intensification écologique pour concevoir des systèmes de culture horticoles durables au Sud. Il s'agit de contribuer à répondre aux grands enjeux mondiaux de l'agriculture et de l'alimentation en faisant évoluer les systèmes horticoles actuels vers des systèmes à la fois plus productifs et moins dépendants des intrants de synthèse de manière à prévenir les risques sanitaires humains et les impacts environnementaux.

L'unité a pour objectif opérationnel de produire des connaissances et mettre au point des méthodes pour concevoir des systèmes de culture horticoles durables, à productivité élevée reposant sur une moindre utilisation des intrants de synthèse. L'hypothèse faite est que cet objectif peut être atteint par une meilleure connaissance et utilisation des interactions et régulations biologiques dans les systèmes de culture horticoles.

Les équipes

UPR SCA
Systèmes de cultures annuelles
(Cirad)
60 scientifiques
Directeur : Florent Maraux,
florent.maraux@cirad.fr
<http://ur-sca.cirad.fr>
► Présentation page 10

**UPR SIA Systèmes et ingénierie
agronomique**
(Cirad)
13 scientifiques
Directeur : Jean-Claude Legoupil,
jean-claude.legoupil@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/couvert_permanents
► Présentation page 12

UR PSH
Plantes et Systèmes
de culture Horticoles
(Inra)
28 scientifiques
Directeur : Michel Génard,
michel.genard@avignon.inra.fr
www4.paca.inra.fr/psh
► Présentation page 8

Les connaissances nécessaires qui mobilisent les disciplines de l'agronomie systémique, l'écologie et la protection des cultures sont élaborées et mises en œuvre dans des situations écologiques, économiques et sociales variées en zone tropicale. Il s'agit de contribuer à l'émergence d'une véritable « écohorticulture », une horticulture écologiquement intensive et durable avec un objectif de résilience et de moindre voire de non dépendance vis-à-vis des pesticides.

Les systèmes horticoles étudiés comprennent i) des systèmes à base de plantes à cycle court (systèmes maraîchers) dans des conditions agroécologiques et économiques variées, ii) des systèmes d'arboriculture fruitière comportant un large gradient d'intensification, notamment deux espèces fruitières majeures en zone tropicale et méditerranéenne (manguier et agrumes). Les systèmes

étudiés incluent des systèmes à haut niveau d'intrants et fort impact environnemental et des systèmes multispécifiques à bas niveau d'intrants (jardins créoles par exemple) considérés comme des possibles modèles d'intensification écologique.

Le questionnement scientifique est organisé autour de deux axes thématiques :

■ **L'équipe « Agroécologie, Interactions et Régulations Biologiques dans les systèmes horticoles »** s'intéresse au fonctionnement agroécologique du système, avec un accent porté aux régulations biologiques des bioagresseurs aériens et telluriques dans les systèmes de culture.
 ■ **L'équipe « Évaluation et Conception de Systèmes horticoles »** s'intéresse à l'évaluation globale et multicritères des systèmes existants et la conception en partenariat de systèmes innovants répondant aux

nouveaux enjeux économiques, écologiques et sanitaires, avec un objectif majeur de réduction des risques portés par les pesticides. Sans négliger les méthodes d'analyse des impacts locaux, l'Analyse du Cycle de Vie constitue la méthode privilégiée pour l'évaluation globale des systèmes.

S'appuyant sur ses dispositifs pérennes (Montpellier, Pôle de Recherche Agronomique de Martinique, La Réunion), l'unité développe ses activités dans les agrosystèmes insulaires tropicaux des départements français d'Outre-mer, les pays de la zone d'influence (Caraïbes, Océan Indien) et dans des pays prioritaires d'Afrique subsaharienne (Bénin, Niger, Sénégal, Madagascar), en partenariat scientifique avec les centres du Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale, les instituts nationaux de recherche et les universités du Sud. ...

Dynamique des populations et régulation naturelle des bioagresseurs dans un paysage de vergers



P. Franck © Inra



P. Franck © Inra

▲ **Vergers de pommiers de la Basse vallée de la Durance et émergence d'un carpocapse.**
 L'abondance du bioagresseur dans le verger est estimée à l'aide de bandes pièges cartonnées disposées aux pieds des arbres dans lesquels les chenilles hivernent.

Vignette - Adulte du carpocapse de la pomme (*Cydia pomonella* L.).

La lutte contre les bioagresseurs dans les vergers de pommiers et poiriers fait appel à de très nombreux traitements phytosanitaires raisonnés à l'échelle du verger. Dans le Sud-est de la France, ces traitements ont majoritairement pour cible la chenille du carpocapse (*Cydia pomonella*). Cependant, les caractéristiques biologiques du carpocapse (capacité de dispersion, forte préférence pour les fruits à pépins) laissent penser que son abondance dépend également de la distribution spatiale des vergers à l'échelle d'un paysage agricole (qualité, abondance et connectivité de son habitat). Pour vérifier cette hypothèse, l'abondance des carpocapses dans 80 vergers commerciaux situés dans un paysage de 50 km² a été mise en relation avec une cartographie des occupations du sol. Il a ainsi pu être montré que le carpocapse est moins abondant dans les vergers de fruits à pépins entourés d'autres vergers similaires, probablement parce que ces configurations spatiales ne permettent pas au carpocapse de se soustraire aux traitements insecticides. Les trajets de femelles entre deux événements de ponte à partir d'analyses génétiques ont également été reconstitués.

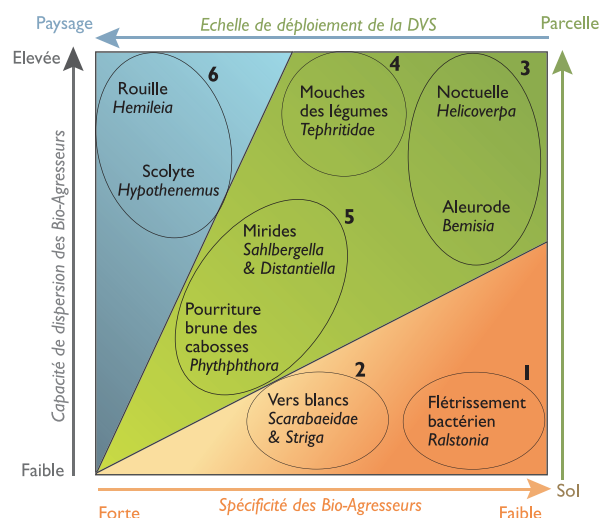
Ces trajets ont lieu très majoritairement au sein des vergers, mais il a pu être mis en évidence quelques événements de dispersion entre des vergers distants, ce qui conforte l'idée d'une gestion à une échelle supra-parcellaire. Enfin, les ennemis naturels du carpocapse, notamment les hyménoptères parasitoïdes, dont les femelles pondent dans les œufs ou chenilles de carpocapse, ont été étudiés. Afin de quantifier le parasitisme et de comprendre la dynamique des populations des parasitoïdes dans différents contextes paysagers, des marqueurs moléculaires sont développés ; ils permettent une détection précoce dans les carpocapses des trois espèces les plus actives en vergers (*Ascogaster quadridentata*, *Pristomerus vulnerator* et *Perilampus tristis*). Des études sont également en cours sur la prédation du carpocapse et du puceron cendré (*Dysaphis plantaginae*), un autre ravageur des pommiers, afin de comprendre les interactions trophiques entre proies.

Contacts : Pierre Franck, pierre.franck@avignon.inra.fr
Claire Lavigne, Claire.Lavigne@avignon.inra.fr
& Yvan Capowiez, capowiez@avignon.inra.fr

Le projet OMEGA 3 : optimisation des mécanismes écologiques de gestion des bioagresseurs pour une amélioration durable de la productivité des agrosystèmes

Une grande diversité végétale spécifique (DVS) caractérise les écosystèmes naturels, qui souffrent beaucoup moins de bio-agressions que les écosystèmes cultivés. L'introduction de DVS dans ces derniers résulte aussi généralement (mais pas systématiquement) en une régulation des bio-agressions. Le Cirad analyse, avec ses partenaires en milieu tropical, les effets sur les bioagresseurs de l'introduction dans les agrosystèmes de DVS selon diverses modalités spatiales et temporelles, afin de déterminer les processus écologiques de régulation mobilisables pour éviter le recours aux pesticides de synthèse.

Sont ainsi étudiés, sur une palette de bioagresseurs (différant par leur spécificité d'hôte et leur capacité de dispersion), et de plantes, de modalités et d'échelles de déploiement de DVS : les effets allélopathiques de plantes de couverture sur les vers blancs et le striga du riz pluvial en semis direct à Madagascar ; les effets allélopathiques et de rupture de cycle de plantes de service en rotation sur le flétrissement bactérien de la tomate en Martinique ; les effets de détournement de plantes-pièges sur les noctuelles de la tomate au Niger et en Martinique ; les effets de détournement d'un mélange attractif alimentaire-insecticide biologique sur les mouches des cucurbitacées à La Réunion ; les effets d'associations d'espèces ligneuses sur les mirides et la pourriture brune des cabosses sur cacaoyer en systèmes agroforestiers au Cameroun ; les effets de la fragmentation du paysage sur la rouille orangée et le scolyte des baies sur caféier en systèmes agroforestiers au Costa Rica. Des études expérimentales sur ces effets suspectés ont déjà produit plusieurs résultats. À partir de la formalisation des processus



▲ Représentation des cas d'étude du projet en fonction de traits de vie des bioagresseurs et échelles de déploiement de la DVS.

écologiques étudiés, des règles de décision pourront être établies pour développer des modèles mécanistes de prédiction des impacts de l'introduction de DVS sur les bioagresseurs selon leurs traits de vie, préalable à l'élaboration de systèmes de culture innovants, et résilients vis-à-vis des bio-agressions.

Contact : Alain Ratnadass, alain.ratnadass@cirad.fr
Pour en savoir plus : www.open-si.com/omega-3

Bananes, plantains, ananas : fonctionnement de l'agrosystème en conditions d'intensification écologique

L'UPR *Systèmes de culture bananiers plantains ananas* (Cirad) est centrée sur la compréhension du fonctionnement de l'agrosystème en conditions d'intensification écologique chez trois modèles représentant des productions d'importance socio-économique majeure :

- La production de bananes dessert (modèle privilégié de l'unité) pour l'exportation repose encore sur la pratique de monocultures intensives pérennisées par l'utilisation de volumes importants d'intrants chimiques. La durabilité de ces cultures passe par une réduction de leurs impacts environnementaux négatifs.
- Second modèle de culture intensive, l'ananas complète celui de la banane.

■ La « banane plantain » est le troisième modèle d'étude de l'unité. Les bananes d'autoconsommation sont cultivées dans des systèmes traditionnels extensifs peu productifs.

À la base de l'alimentation de nombreux pays du Sud, les performances de ces systèmes doivent être améliorées afin de mieux contribuer à la sécurité alimentaire dans un contexte de croissance démographique forte.

Ces modèles sont originaux de part le type de culture (semi-pérenne tropicale) et la gamme de degré d'intensification qu'ils représentent (de la monoculture au système multi-espèces).

Deux principales missions sont dévolues à l'UPR :
 ■ conduire des recherches pour comprendre le fonctionnement des agrosystèmes à base de monocultures intensives tropicales en voie de conversion vers des systèmes de culture plus durables dans des conditions où les intrants chimiques sont remplacés par des processus écologiques ;

■ concevoir, développer et évaluer de façon participative avec les acteurs de la production, des systèmes de culture innovants respectueux de l'environnement et adaptés aux contextes socio-économiques des productions locales.

Le projet scientifique de l'unité se décline en trois axes :

■ **Dynamique des bioagresseurs et des communautés en conditions d'intensification écologique.**
 Les recherches concernent principalement l'effet de l'agencement spatial de systèmes de culture sur la dynamique de développement des bioagresseurs à l'échelle intra-parcellaire et extra-parcellaire (paysage) en partant des systèmes les plus simples (une seule culture et une seule variété) pour étudier ensuite le cas de mélanges multi-variétaux et multi-espèces.

Parallèlement, l'unité étudie les liens trophiques entre les bioagresseurs et les autres espèces présentes considérées comme un cadre intégrateur des interactions entre plantes, bioagresseurs et autres communautés de l'agroécosystème.

■ États du milieu et fonctionnement de l'agrosystème en conditions d'intensification écologique.

Les recherches portent sur la façon dont des pratiques d'intensification écologique (utilisation de plantes de couverture, apport de matière organique exogène) permettent d'améliorer les propriétés physiques du sol, de garantir la mise en place d'un enracinement profond, de restaurer le stock de matière organique, de contribuer à l'activité biologique et à l'amélioration de la biodisponibilité des éléments nutritifs. Ces recherches sont complétées par une étude de l'influence de pratiques d'intensification écologique sur les flux de polluants.

■ Conception et évaluation de systèmes de culture durables.

Ces travaux s'appuient sur une

synthèse des connaissances acquises par l'unité dans les axes 1 et 2 (à l'aide des outils de modélisation) et sur le prototypage de systèmes de culture (conception de systèmes à dire d'experts et conception assistée par modèles). Les évaluations des systèmes sont conduites de manière participative en partenariat avec le secteur de la production.

Les études sont conduites en partenariat avec d'autres unités de recherche et institutions (p. ex. LISAH, SYSTEM, PSH, UR Agrosystèmes tropicaux [Antilles], Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Université catholique de Louvain, Rothamsted Research, etc.). Un partenariat a permis le développement du Centre Africain de Recherches sur Bananiers

et Plantains (CARBaP), pôle de recherche à vocation régionale (pays de la Communauté Économique et Monétaire de l'Afrique Centrale). L'unité inscrit également son action dans un réseau de partenaires scientifiques et techniques nationaux (Amérique latine, Afrique), régionaux (Centre International d'Agriculture Tropicale...) et internationaux (Bioversity...).

Une collaboration développée avec les filières de production de bananes et d'ananas de Guadeloupe et Martinique (UGPBA) s'est traduite par la mise en place de l'Institut technique de la banane (ITBAN) et du Plan Banane Durable Guadeloupe-Martinique. ■

Contribution à la lutte contre les mirides du cacaoyer en Afrique



R. Babin © Cirad



© M. Dulcire

▲ Adulte et larves de *Sahlbergella singularis* sur une cabosse de cacaoyer.

Vignette - Cacaoyer.

La culture du cacaoyer est l'une des principales sources de revenu des familles rurales de la zone forestière au Cameroun. Cependant, cette culture est soumise à la pression de bioagresseurs tels que les mirides. *Sahlbergella singularis* et *Distantiella theobroma* sont, en effet, les ravageurs les plus préjudiciables à la culture du cacaoyer en Afrique. Dans certains pays, ils seraient responsables de la perte de 30 à 40% de la production de cacao.

Le contrôle de ces ravageurs implique une meilleure connaissance des mécanismes et facteurs agroécologiques impliqués dans la dynamique de leurs populations naturelles. Dans ce but, la biologie de *Sahlbergella singularis* a été étudiée au moyen d'un élevage au laboratoire. L'étude des paramètres démographiques de la population d'élevage a révélé que *S. singularis* est une espèce à croissance lente. Ceci expliquerait sa faible densité de présence dans les plantations. D'autre part, la fécondité serait un paramètre-clé des fluctuations saisonnières des populations naturelles. Ainsi, la croissance des populations naturelles serait liée à la présence de jeunes cabosses sur les cacaoyers fournissant aux femelles une ressource alimentaire favorable à la reproduction. L'étude de l'influence des facteurs agroécologiques sur les densités de populations de *S. singularis* en plantation a révélé que les densités dépendent des conditions parcellaires de culture du cacaoyer. Parmi les pratiques culturales, les traitements insecticides, l'ombrage et le recours aux variétés hybrides sont des facteurs déterminants. En outre, les populations du ravageur sont fortement agrégées dans les zones des plantations bénéficiant d'un ensoleillement maximal. Enfin, l'ombrage fourni par les arbres forestiers s'est avéré plus homogène que l'ombrage d'arbres fruitiers et, par conséquent, moins propice au développement de zones fortement infestées, communément appelées poches à mirides.

Les recommandations de lutte préconisées par la recherche agronomique sont rarement appliquées par les planteurs. Aussi, les résultats ont-ils été discutés dans l'optique de les adapter au contexte de culture du cacaoyer qui prévaut actuellement au Cameroun.

Contact : Régis Babin, regis.babin@cirad.fr



▲ Chenille de noctuelle (*Helicoverpa armigera*) sur tomate.

© T. Brévault

Suivi des déplacements d'insectes ravageurs au service d'une gestion durable des agrosystèmes en Afrique sub-saharienne

Comprendre la dynamique spatiale des ravageurs dans des agrosystèmes constitués d'une mosaïque changeante d'habitats incluant des zones cultivées et non-cultivées, permet de mieux prévoir les risques d'infestation et d'envisager une lutte ciblée sur les foyers de départ des infestations. Cela permet aussi la conception ex-ante de systèmes de culture fonctionnels vis-à-vis de la maîtrise des ravageurs, selon les échelles de temps - les successions culturales par exemple - et d'espace, les associations culturales, les zones de refuge (cultivées ou non). La noctuelle polyphage *Helicoverpa armigera* Hbn, ravageur du cotonnier, a développé une résistance aux pyréthrinoides. Pour une gestion durable des populations de ce ravageur dans les agrosystèmes de savane d'Afrique sub-saharienne, il est important d'élucider les flux du (ou des) gène(s) de résistance.



© T. Brévault

végétaux reconnus comme hôtes potentiels peut être évaluée à l'aide (i) de techniques isotopiques (analyse de la composition de deux isotopes stables du carbone ^{12}C et ^{13}C qui discrimine les plantes de physiologie C3 de celles en C4 telles que le maïs) et (ii) de traceurs phytochimiques tels que le gossypol, un alcaloïde du cotonnier, et les glyco-alcaloïdes tels que la tomatine des solanacées. Des marqueurs de la résistance aux pyréthrinoides (mutations ponctuelles, niveaux de résistance) peuvent également être employés. À l'échelle de la région, l'analyse de la composition en isotopes stables de l'hydrogène (^1H et deutérium) et du polymorphisme de la flore microbienne (bactéries, levures) hébergée par les ravageurs adultes, à l'aide de marqueurs moléculaires, permet d'approcher les phénomènes migratoires des populations adultes sur de grandes distances et de connaître l'origine géographique de celles-ci.

Contact : Philippe Menozzi, philippe.menozzi@cirad.fr

▲ Chenille de noctuelle dévorant une capsule de cotonnier.





A. Chabanne © Cirad

▲ *Érosion sur pentes (Région de Xayaboury, Laos).*

► *Enherbement entre les rangs de vigne. L'enherbement réduit les risques de ruissellement et d'érosion des sols, mais dans certaines conditions de milieu, il est en concurrence avec la vigne pour l'eau et l'azote (Hérault, France).*

Préserver *les ressources en eau*



L'agriculture a besoin d'eau pour assurer la sécurité alimentaire d'une population mondiale en augmentation. La production végétale est en effet assurée par un flux permanent d'eau à travers la plante et un échange « eau contre carbone » au niveau des stomates. Chaque kilogramme de biomasse produit par une culture nécessite entre 200 et 1 000 litres d'eau suivant les espèces et les modes de culture. Or, les perspectives de croissance démographique et de changement climatique annoncent un accroissement de la pression sur la ressource en eau pour l'agriculture. Les zones méditerranéennes et tropicales sont particulièrement concernées par ces problèmes. La démographie en hausse s'accompagne de besoins accrus en eau pour d'autres usages que l'agriculture, entraînant une compétition pour l'eau entre ces différents usages, notamment en période estivale où les ressources sont faibles et les besoins élevés. D'autre part, les prévisions des modèles climatiques indiquent, outre le réchauffement climatique qui augmente les besoins en eau des cultures, une tendance à l'augmentation des épisodes de sécheresse et des épisodes extrêmes de fortes précipitations où l'eau est perdue par ruissellement. À cet aspect quantitatif - il faut économiser la ressource - s'ajoute un aspect qualitatif - il faut préserver la qualité de la ressource - car les intrants utilisés en agriculture (fertilisants, pesticides) sont une source majeure de dégradation de la qualité des eaux de surface et souterraines.

L'agriculture se retrouve ainsi devant un triple défi : produire plus, tout en préservant la qualité de la ressource en eau et en faisant face à sa raréfaction. Pour économiser l'eau, il s'agit d'optimiser le fonctionnement des couverts végétaux cultivés en termes de production et de pérennité en situation hydrique limitante, par des voies agronomiques et génétiques. Les solutions sont à rechercher dans l'obtention de génotypes performants face au déficit hydrique et dans la mise au point de

techniques culturales et de systèmes de culture favorisant l'infiltration et réduisant l'évaporation. Pour préserver la qualité de l'eau, il s'agit de comprendre les processus de contamination des eaux superficielles et de concevoir des systèmes de culture qui réduisent l'utilisation des intrants polluants et leur transfert vers les nappes et les cours d'eau.

Le pôle de recherche agronomique montpellierain aborde l'ensemble de ces questions grâce à des équipes de recherche positionnées sur un continuum d'échelles d'approche, depuis la physiologie de la plante cultivée jusqu'au fonctionnement hydrologique des bassins versants, en passant par le système de culture aux échelles parcelle, exploitation et territoire. S'appuyant sur une solide approche métrologique aux différentes échelles, ces travaux de recherche accordent une place centrale à la modélisation. Le couplage de modèles écophysiologiques - fondés sur des processus physiologiques - et de modèles de culture décrivant les flux biophysiques à l'échelle de la parcelle, permet de prévoir l'impact de caractères adaptatifs sur le rendement selon le scénario climatique et d'orienter ainsi la sélection de plantes plus efficaces pour l'utilisation de l'eau. La modélisation du fonctionnement des systèmes de culture vise à concevoir et à tester des conduites de culture et des systèmes de culture productifs mais plus respectueux des ressources en eau. L'accent est mis sur l'utilisation de la diversité biologique des espèces cultivées, le pilotage de leurs associations et successions et les techniques de conservation des sols. La modélisation du fonctionnement hydrologique des agrosystèmes permet de quantifier l'impact de ces modes de culture sur le fonctionnement des bassins versants en termes d'utilisation de l'eau et de contamination de la ressource, contribuant ainsi à la définition de nouveaux modes de gestion durable de l'espace rural.

Olivier Turc (UMR LEPSE)

Préserver les ressources en eau

Les équipes

UMR LEPSE

Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes
sous Stress Environnementaux

(Inra, Montpellier SupAgro)

11 scientifiques

Directeur : Bertrand Muller,

muller@supagro.inra.fr

www1.montpellier.inra.fr/ibip/lepse

► Présentation page 40

UMR LISAH

Laboratoire d'étude des Interactions Sol -
Agrosystème - Hydrosystème

(Inra, IRD, Montpellier SupAgro)

29 scientifiques

Directeur : Jérôme Molénat,

jerome.molenat@supagro.inra.fr

www.umar-lisah.fr

► Présentation page 42

UMR SYSTEM

Fonctionnement et conduite
des systèmes de culture tropicaux et
méditerranéens

(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)

21 scientifiques

Directeur : Christian Gary,

dircsystem@supagro.inra.fr

<http://umr-system.cirad.fr>

► Présentation page 52

UPR SCA

Systèmes de cultures annuelles
(Cirad)

60 scientifiques

Directeur : Florent Maraux,

florent.maraux@cirad.fr

<http://ur-sca.cirad.fr>

► Présentation page 10

UPR SIA Systèmes et ingénierie
agronomique

(Cirad)

13 scientifiques

Directeur : Jean-Claude Legoupil

jean-claude.legoupil@cirad.fr

www.cirad.fr/ur/couverts_permanents

► Présentation page 12

UPR Systèmes de culture bananiers
plantains ananas

(Cirad)

18 scientifiques

Directeur : Jean-Michel Risède

jean-michel.risede@cirad.fr

www.cirad.fr/ur/systemes_bananes_ananas

► Présentation page 34

Plantes en conditions de déficit hydrique : ingénierie et modes de conduite

Face aux changements climatiques et à la compétition pour l'usage de l'eau, le Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux (UMR LEPSE, Inra, Montpellier SupAgro) s'est fixé pour objectif l'identification des caractéristiques des plantes favorables à la production en conditions de déficit hydrique. Les travaux, menés en collaboration avec des physiologistes moléculaires, des généticiens, des agronomes et des bioclimatologistes, visent l'ingénierie des plantes et l'adaptation de leurs modes de conduite.

Le LEPSE est structuré en trois équipes de recherche :

■ L'équipe SPIC (Stress environnementaux et Processus Intégrés du contrôle de la Croissance) concentre l'essentiel de ses activités sur l'espèce modèle *Arabidopsis thaliana* pour tirer profit des avancées en génomique et des possibilités expérimentales sur cette espèce.

■ L'équipe MAGE (Modélisation et Analyse de l'interaction Génotype X Environnement) combine modèles écophysiologiques et approches génétiques larges, principalement chez le maïs, pour identifier les déterminants génétiques des

variations de croissance en climat fluctuant et en déduire les propriétés optimales (idéotypes) pour le rendement en climat sec.

■ L'équipe ETAP (Efficience de Transpiration et Adaptation des Plantes aux climats secs) analyse les déterminismes biophysiques et physiologiques de l'efficience d'utilisation de l'eau, notamment chez la vigne, afin d'identifier des génotypes efficaces.

La démarche scientifique de l'unité repose sur la combinaison d'approches expérimentales écophysiologiques et génétiques, pour identifier les mécanismes - voire les gènes - en jeu, et d'approches de modélisation qui intègrent ces mécanismes pour simuler le comportement des plantes dans leur environnement. Les expérimentations consistent à soumettre les plantes à des conditions climatiques contrôlées (température, rayonnement, hygrométrie de l'air et potentiel hydrique du sol), fluctuantes ou stabilisées (en serre, au champ ou en chambre de culture), en effets simples ou combinés.

Le laboratoire caractérise l'effet de ces conditions sur la croissance et le développement des organes, la transpiration, l'état hydrique et la composition des cellules ou des organes. Ces analyses sont effectuées à l'aide de techniques d'imagerie, de capteurs de déplacements, de méthodes biochimiques et d'outils d'hydraulique intracellulaire.



© Inra-UMR LEPSE

▲ De la plateforme de phénotypage au champ : caractériser la variabilité génétique de la sensibilité de la croissance au déficit hydrique et prédire le comportement de génotypes dans des scénarios agro-climatiques variés.

Tolérance à la sécheresse chez le maïs : quels génotypes pour quel scénario agro-climatique ?

L'amélioration de la tolérance à la sécheresse chez les plantes cultivées se heurte à la contradiction entre le maintien de la production en sécheresse et la réduction du risque de perte de rendement. Selon le scénario climatique, une croissance foliaire maintenue en déficit hydrique est un avantage (photosynthèse restant élevée) ou un inconvénient (risque de mort des plantes par épuisement plus rapide de l'eau du sol). Tester toutes les combinaisons génotype x scénario climatique est inenvisageable. L'alternative développée consiste à coupler des expérimentations en conditions contrôlées avec la modélisation pour analyser la variabilité génétique de traits d'adaptation et prédire son effet sur le rendement.

Les expérimentations concernent des populations de lignées de maïs dont on connaît la composition allélique grâce à des marqueurs génétiques. Elles sont conduites sur la plateforme de phénotypage PHENODYN permettant de mesurer, sur 400 plantes simultanément, la transpiration et la croissance des feuilles ou d'organes reproducteurs, conjointement avec l'état hydrique du sol et de l'air, le rayonnement et la température des plantes. Ceci permet de quantifier, pour les fonctions étudiées,

l'effet des allèles sur la réponse des plantes aux conditions environnementales : chaque génotype est caractérisé par un jeu unique de paramètres de courbes de réponse.

En collaboration avec une équipe australienne, le modèle de croissance d'organes a été couplé à un modèle biophysique de simulation du fonctionnement des cultures à l'échelle de la parcelle. À partir des données (réelles ou virtuelles) du climat, du sol et du génotype, le modèle calcule quotidiennement le bilan hydrique de la culture, la production de biomasse et simule le rendement en grain pour chaque génotype dans chaque situation. Un allèle favorable au maintien de la croissance foliaire peut avoir un effet positif, négatif ou nul sur le rendement, selon le scénario climatique. On peut ainsi déterminer les combinaisons d'allèles les plus intéressantes pour une région donnée.

**Contacts : Claude Welcker, welcker@supagro.inra.fr
& François Tardieu, ftardieu@supagro.inra.fr**

Pour en savoir plus :
<http://bioweb.supagro.inra.fr/phenodyn> & <http://bioweb.supagro.inra.fr/cincalli>

Des plateaux expérimentaux sont développés pour piloter les apports d'eau, contrôler le climat et analyser automatiquement la croissance de plus de 1 500 plantes simultanément.

En parallèle aux observations sur le végétal, l'évolution du microclimat peut être modélisée pour accéder à des variables complexes comme le rayonnement intercepté par les feuilles. Les connaissances sont assemblées dans des modélisations mathématiques et informatiques

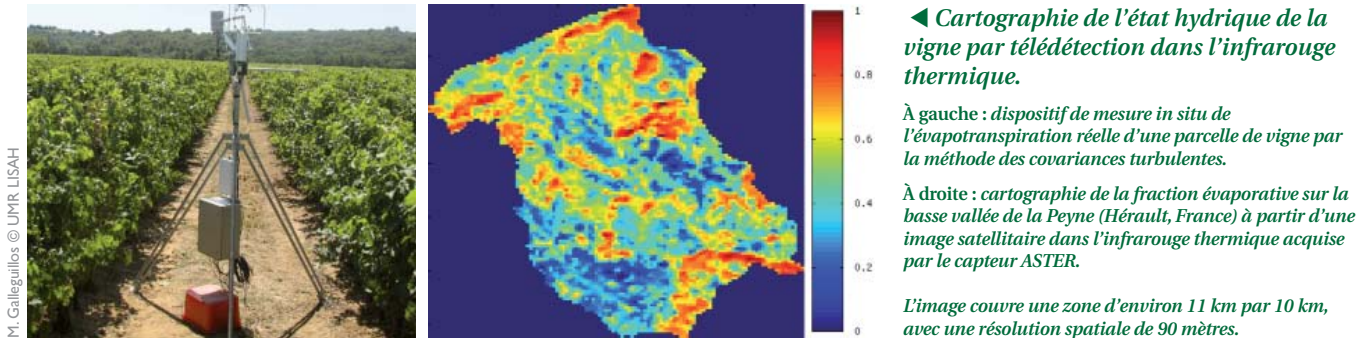
permettant de simuler le comportement de génotypes réels ou virtuels dans différents types de climats et sous différents modes de conduite agronomique.

Le LEPSE collabore avec de nombreuses équipes nationales et internationales à travers des projets financés par l'Inra, la Région Languedoc-Roussillon, l'Agence Nationale de la Recherche ou l'Union européenne. Des partenariats avec l'interprofession, les semenciers

ou des organismes de Recherche-Développement permettent de tester et d'utiliser les modèles développés dans des contextes agronomiques.

Les applications issues de ces travaux concernent, par exemple, la conduite de la surface foliaire de la vigne, fondée sur un modèle architectural couplé au bilan hydrique de la parcelle, ou l'estimation de l'impact de différents scénarios de sécheresse sur le rendement du maïs en fonction de ses caractéristiques génétiques. ●●●

Eau et productivité agricole face aux changements globaux en Méditerranée



Sur les rives Nord et Sud de la Méditerranée, l'agriculture joue un rôle primordial aux niveaux économique et social. Elle est identifiée comme un secteur particulièrement sensible aux changements globaux en cours et à venir. Le LISAH contribue au développement d'outils d'aide à la décision et de stratégies d'adaptation, pour le bénéfice des agrosystèmes confrontés à ces changements. Trois actions importantes sont actuellement conduites.

Dans l'optique de quantifier la productivité de l'eau à l'échelle du bassin versant, la première action ambitionne d'estimer la consommation en eau des cultures en conditions de relief collinaire et d'accroître la précision des modèles agroclimatiques. Il s'agit de prendre en compte l'influence du vent en conditions de relief et de mieux simuler les processus aériens et racinaires. Cette action entreprise à l'échelle d'un petit bassin versant en Tunisie sera par la suite étendue au niveau régional (Cap Bon).

La deuxième action porte sur l'utilisation de la télédétection pour renseigner l'état hydrique du couvert végétal à l'échelle régionale. Dans un contexte de production viticole, une étude sur le bassin versant de La Peyne (Hérault) a montré qu'une modélisation simplifiée permet de cartographier l'évapotranspiration journalière et le statut hydrique d'une culture en rang. La suite des travaux portera sur l'utilisation des estimations obtenues pour spatialiser le bilan hydrique.

La troisième action utilise les projections futures générées par les modèles de circulation générale, qui indiquent que parallèlement à une élévation de la température, les précipitations moyennes devraient diminuer. Une étude préliminaire sur le blé dur en Tunisie a montré que la modification de la distribution des précipitations au cours de l'année et le raccourcissement des cycles culturaux conduisaient à des semis plus précoces et à des impacts sur les rendements variables selon les régions. Cette étude doit être poursuivie et étendue à d'autres régions.

**Contacts : Jean-Paul Lhomme, jean-paul.lhomme@supagro.inra.fr
Laurent Prévot, laurent.prevot@supagro.inra.fr
& Frédéric Jacob, frederic.jacob@supagro.inra.fr**

Étude du fonctionnement des paysages cultivés

Le **Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème** (UMR LISAH, Inra, IRD, Montpellier SupAgro) étudie le fonctionnement des paysages cultivés, résultant des interactions entre i) le sol, support du paysage, ii) l'agrosystème, source de forçages et de modification de la géométrie du paysage et iii) l'hydrosystème, générateur de transferts d'eau et d'éléments. Ses objectifs sont les suivants :

- développer les connaissances sur les transferts d'eau, l'érosion des sols et l'écodynamique des substances polluantes dans les sols et les bassins versants ruraux en relation avec leur organisation spatiale et temporelle d'origine naturelle et anthropique ;

- élaborer des outils permettant de diagnostiquer et prévenir les risques qu'induisent les activités humaines dans les milieux cultivés sur les régimes hydrologiques et l'évolution des ressources en eau et en sol ;
- contribuer à la définition de nouveaux modes de gestion durable de l'espace ;
- former des étudiants aux concepts et aux outils d'analyse et de modélisation de l'organisation spatiale et de l'hydrologie des milieux cultivés.

La démarche scientifique du LISAH repose sur (i) des études et expérimentations hydrologiques de terrain, (ii) des recherches méthodologiques pour l'acquisition et le traitement des données spatialisées concernant le sol et le paysage, et (iii) le développement d'approches de modélisation hydrologique distribuée comme outils d'analyse de risques et

d'évaluation de scénarios de gestion et d'utilisation des milieux cultivés.

Le laboratoire regroupe des compétences en science du sol, hydrologie et agronomie. Il est structuré autour de trois équipes de recherche :

- Eau et polluants en bassins versants cultivés
- Érosion et transport solide
- Organisation spatiale et fonctionnement des paysages cultivés

Le LISAH gère l'observatoire de recherche en environnement OMERE (Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau) qui a pour objectif l'analyse de l'impact des actions anthropiques sur l'érosion physique et chimique des sols méditerranéens et sur la qualité de l'eau. Il s'appuie sur deux bassins versants : Roujan (Hérault, France) et Kamech (Cap

Bon, Tunisie). L'observatoire réunit quatre partenaires dans le cadre d'un consortium : l'UMR HydroSciences Montpellier, l'Institut National de Recherche du Génie Rural et des Eaux et Forêts (INRGREF), l'Institut National Agronomique de Tunisie (INAT) et l'UMR LISAH.

Implanté en France (campus agronomique de la Gaillarde, Montpellier) et sur le pourtour méditerranéen, l'UMR LISAH s'appuie également sur son réseau de partenariats dont les principaux concernent la communauté scientifique nationale (Institut Languedocien sur l'Eau et l'Environnement p. ex.) et internationale (en grande partie dans la région méditerranéenne).

Les implantations ont été développées au Maroc avec l'Institut Agronomique et Vétérinaire et l'École Nationale Forestière d'Ingénieurs, et en Tunisie avec l'INRGREF, l'INAT et la Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles du ministère tunisien de l'agriculture.

Le LISAH a développé des actions en milieu tropical portant sur l'étude des impacts environnementaux sur l'eau et les sols de cultures intensives en partenariat avec le *World Agroforestry Centre* au Kenya, l'*Office of Science for Land Development* en Thaïlande, le Cirad et l'Inra en Guadeloupe.

Les principaux chantiers de recherche concernent l'étude des impacts de l'agriculture en viticulture

languedocienne et bananeraie antillaise sur la pollution des sols et des eaux par les produits phytosanitaires, l'analyse du cycle hydrologique du système « sol-cultures » à l'échelle des petits bassins versants méditerranéens, le développement de méthodes de cartographie numérique des sols et de systèmes d'information pédologique, l'analyse du déterminisme et des processus d'érosion des sols et du transfert de sédiments dans les bassins versants, ainsi que l'étude de l'influence des aménagements hydrauliques (fossés, banquettes, lacs collinaires) sur le fonctionnement hydrologique des sols et bassins versants cultivés. ■

* www.umar-lisah.fr/omere

Perceptions des changements climatiques et adaptation des producteurs au Bénin



© R. Dimon



© R. Dimon



© S. Deloun

▲ Photos 1 et 2 - Effets néfastes des intempéries dans le village d'Alfakoara au nord Bénin.

Photo 3 - Utilisation de questionnaires de groupe dans le village d'Athièmè, sud-est du Bénin.

La recherche s'inscrit dans l'adaptation des agricultures familiales aux changements climatiques. Partant du principe que ceux qui peuvent le mieux décrire ces changements sont ceux qui y sont exposés, une enquête a été conduite auprès des producteurs sur leur perception du phénomène et ses conséquences sur le milieu et leur vie quotidienne. Ont également été relevées les adaptations techniques adoptées pour y faire face. L'enquête a été conduite dans huit villages des zones nord, centre et littorales du Bénin, et sur des systèmes de culture (respectivement coton/vivrier, vivrier/soja et vivrier/palmier). Elle a exploré un important gradient de variabilité climatique, du nord (climat soudanien à régime monomodal des pluies) au sud du pays (climat guinéen côtier à répartition bimodale des pluies).

Tous les producteurs interrogés perçoivent un changement climatique depuis environ une quinzaine d'années. Les producteurs signalent (i) une tendance au raccourcissement — voire la disparition — de la deuxième saison des pluies, ainsi qu'un retard général de l'installation de la saison pluvieuse principale ou unique, (ii) une augmentation de l'irrégularité des pluies, plus qu'une diminution de celles-ci, (iii) une augmentation des températures maximales, ressentie surtout pendant la grande ou l'unique saison sèche, ainsi que (iv) l'augmentation de l'occurrence de vents violents en fin de saison humide. Parmi les conséquences énoncées, l'une des plus importantes apparaît liée aux vents violents provoquant la verse des céréales et donc des pertes importantes de production, ainsi que des dégâts aux constructions.

Les adaptations diffèrent selon le type d'exploitation et les régions. Ceux qui en ont la possibilité (i) recourent à de nouvelles cultures telles le riz de bas fond au centre, en abandonnent d'autres (la culture du cotonnier et les légumineuses traditionnelles comme le niébé et le pois de terre au profit du soja, au centre), (ii) adoptent des variétés à cycle plus court, et (iii) modifient leurs pratiques (intrants, utilisation des terres...). Les plus vulnérables s'adonnent à de nouvelles activités telles la production de charbon de bois, ou envisagent de migrer.

Contacts : Hervé Guibert, herve.guibert@cirad.fr & Euloge K. Agbossou, agbossou2001@yahoo.fr

Pollution persistante des sols et sécurité sanitaire des produits horticoles : cas de la chlordécone aux Antilles



© J.B. Charlier

▲ Vue du bassin versant élémentaire, Fèfè, Guadeloupe.

La chlordécone est un insecticide organochloré qui a été utilisé de 1971 à 1993 aux Antilles. Cette molécule est stable et persiste aujourd'hui encore dans l'environnement. Il s'ensuit une contamination chronique du milieu et de certaines cultures. On connaît peu les modalités de dispersion de ce pesticide fortement adsorbé sur des sols riches en matière organique, en climat tropical humide. Un premier volet traite des déterminants du relargage de la molécule au sein du profil du sol et de son transfert vers les nappes. L'adsorption et la désorption de la chlordécone sont caractérisées pour les différents types de sol, en fonction de la qualité de leurs matières organiques et des caractéristiques de la phase minérale. L'intensité et la dynamique de migration de la chlordécone vers les nappes sont modélisées suivant les propriétés des sols et les événements climatiques.

Le second volet étudie les déterminants de la contamination des rivières à l'échelle du bassin versant. En Guadeloupe, les mesures *in situ* (pluviométrie, débits des cours d'eau, piézométrie) définissent le fonctionnement hydrologique d'un bassin élémentaire et du bassin ressource. Elles sont complétées par l'analyse de la pollution des sols, et son suivi dans les eaux (nappe et rivière). Les voies de transfert du polluant et sa dynamique seront simulées par modélisation. Enfin, le transfert de la molécule du sol vers les cultures est mesuré à différentes échelles pour mieux comprendre les voies et les moteurs de ce transfert au sein de la plante. L'intégration des données aboutit à des outils de gestion qui anticipent le risque sanitaire et qui permettent d'identifier les principales zones contributrices de la pollution et l'évolution de la pression polluante au cours du temps. Ils contribueront à une meilleure gestion du milieu et des risques d'exposition pour la population par l'ensemble des acteurs du territoire. Ces travaux sont réalisés par les UR HortSys et Systèmes bananiers (Cirad), l'Inra Guadeloupe, l'UMR LISAH, l'IRD de Martinique et l'Agrosphere Institute (Jülich, Allemagne), dans le cadre du Plan National Chlordécone et de Chlordexco (projet « Contaminants, Écosystème, Santé » de l'Agence Nationale pour la Recherche).

Contacts : Magalie Jannoyer, magalie.jannoyer@cirad.fr, Philippe Cattan, philippe.cattan@cirad.fr & Marc Voltz, marc.voltz@supagro.inra.fr

Pour en savoir plus : www.pram-martinique.org

Rôle de systèmes agroforestiers à base de caféiers sur la qualité de l'eau et la limitation des phénomènes d'érosion

Les systèmes de culture sont maintenant largement évalués à la fois pour leur capacité à produire, mais aussi pour leurs impacts sur les ressources naturelles. Les systèmes agroforestiers (SAF), qui associent au même moment dans une parcelle plusieurs espèces végétales, dont des arbres, sont susceptibles de combiner avec succès ces deux enjeux. Les SAF en général, et ceux qui reposent sur des cultures pérennes comme le caféier en particulier, sont très répandus en Amérique centrale. De nombreuses recherches se sont attachées à en améliorer les performances agronomiques. Aujourd'hui, d'autres recherches, toutes aussi foisonnantes, s'intéressent également à la fourniture de services environnementaux par ces SAF.



© B. Rapidel

des recherches sont menées pour identifier les marges de progrès dans la production de café, les relations entre les pratiques caféières et l'érosion, et, finalement, entre les compromis ou complémentarités entre production de café, érosion et maintien de la fertilité. Cette recherche doit s'intégrer dans un ensemble plus vaste de négociation entre acteurs, assistée par des modèles informatiques pour mieux évaluer les quantités de services environnementaux fournis par les caféiculteurs, la disponibilité à payer des utilisateurs de services et la volonté de fournir les services en fonction des dispositifs d'encouragement (projet SEPIA soumis à l'Agence Nationale de la Recherche). La modélisation du système hydrologique s'appuie sur les travaux de l'Inra et du Cirad. La modélisation des systèmes caféiers repose sur les acquis du projet CASCAS*, projet européen antérieur mené entre le Cirad, le CATIE** et le CEH***.

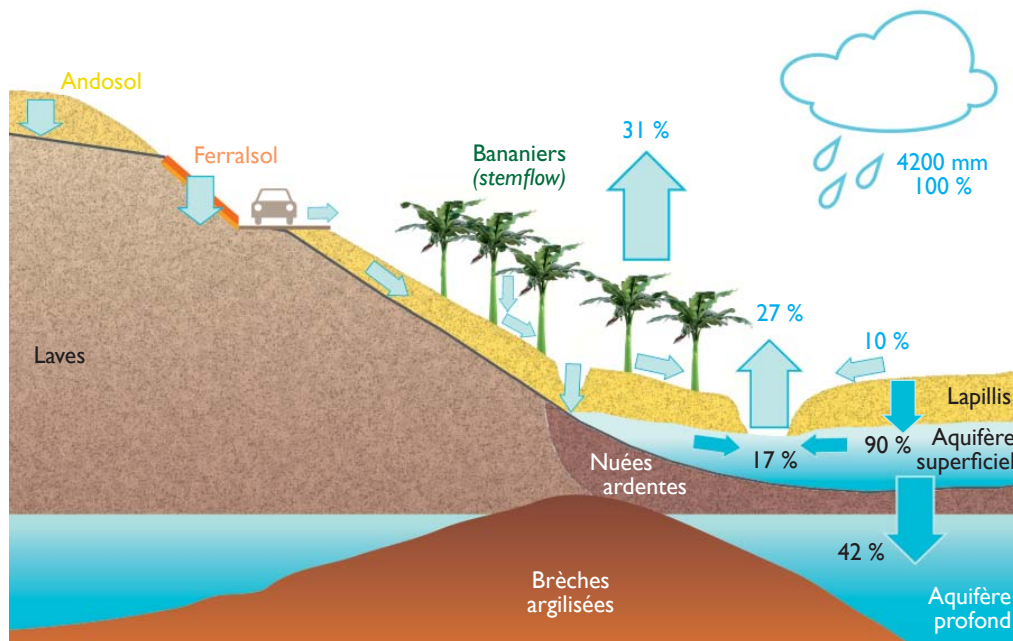
Contact : Bruno Rapidel, bruno.rapidel@cirad.fr

* Sustainability of coffee agroforestry systems in Central America; coffee quality and environmental impacts

** Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza / *** Centre for Ecology and Hydrology

▲ Vallée de Llano Bonito, région de Tarrazú au Costa Rica.

Les arbres sont généralement associés au caféier, mais en proportions très variables.



◀ Éléments du bilan hydrologique du petit bassin versant de Féfé (20 ha).

Les discontinuités hydrauliques entre les lapillis, les laves et nuées ardentes et enfin les brèches, conduisent à l'individualisation de deux aquifères superposés. Les termes remarquables du bilan sont :

Évaporation = 31% de la pluie ;
Débit rivière (27%) = ruissellement de surface (Rs=10%) + drainage de l'aquifère superficiel (Ds=17%) ;
Infiltration (90%) = Évaporation + Ds + Drainage aquifère profond (42%).

Le fonctionnement hydrologique à l'échelle de la parcelle et du bassin versant en milieu tropical : le cas du bananier

La méconnaissance des principaux mécanismes contrôlant le devenir des pesticides épanchés en milieu tropical est en partie à l'origine des problèmes environnementaux que connaissent les Antilles et la plupart des zones bananières dans le monde. Dans le cadre des travaux de caractérisation du devenir des pesticides dans les conditions des milieux tropicaux volcaniques, une attention toute particulière a été apportée aux dégradations de l'environnement susceptibles d'être provoquées par la culture bananière.

Les recherches (collaboration avec l'Unité Agropédoclimatique de la zone Caraïbe, Inra) se sont déroulées en deux phases :

- Compréhension de la façon dont les pesticides sont mobilisés à partir de leur lieu d'épandage (parcelle). Les principaux flux hydriques en ruissellement et drainage ont été quantifiés ainsi que l'évolution des concentrations d'un pesticide dans les différents compartiments eau et sol.

- Étude des mécanismes de pollution de la ressource en eau à l'échelle du bassin versant, échelle d'évaluation des impacts environnementaux. Le fonctionnement hydrologique d'un petit bassin bananier (20 ha) a été caractérisé et l'évolution de la contamination des compartiments eau et sol a été déterminée.

Aux deux échelles, une modélisation hydrologique a été réalisée en s'appuyant sur le modèle MHYDAS développé par le LISAH.

À l'échelle de la parcelle, le bananier redistribue fortement la pluie incidente en favorisant son écoulement préférentiel le long du tronc. Il en résulte une hétérogénéité de répartition des intensités pluviométriques au sol qui favorise le ruissellement, augmente les flux de drainage au pied du bananier et favorise le départ des pesticides. À l'échelle du bassin versant, les voies de circulation des eaux sont principalement souterraines. Le modèle hydrologique spatialisé développé permet d'évaluer l'impact de l'organisation spatiale du paysage sur les écoulements d'eau.

L'étude de dispersion d'un nématicide montre deux phases successives de contamination des eaux : une contamination événementielle par pic qui dure moins de 30 jours associée au transport par ruissellement de surface au cours des épisodes pluvieux ; une contamination de type chronique, la plus importante en quantité, associée au drainage de la nappe superficielle contaminée.

L'apport de pesticides en bananeraie se traduit par une pollution des sols et des eaux aux différentes échelles de l'espace agricole. Ceci justifie la recherche de pratiques alternatives à l'utilisation des pesticides. Ces travaux constituent un référentiel de base sur les processus de contamination et de mobilisation des pesticides en milieu volcanique tropical, notamment en contribuant à la gestion du dossier « chlordécone » aux Antilles, molécule organochlorée persistante polluant durablement les eaux et les sols.

**Contacts : Philippe Cattan, philippe.cattan@cirad.fr
Marc Voltz, voltz@supagro.inra.fr
& Roger Moussa, moussa@supagro.inra.fr**



▲ Dispositif de mesure de la redistribution de la pluie par le feuillage en bananeraie.

Une colerette permet la récupération dans les bidons de l'eau s'écoulant le long du tronc (stemflow). Les bassines permettent d'évaluer la répartition de l'eau s'écoulant à travers le feuillage (throughfall).



▲ Parcelles de vigne dés herbée mécaniquement avec un outil à dents. Sous l'effet des pluies successives, une croûte se forme à la surface du sol entraînant une diminution de l'infiltrabilité.

© P. Andrieux

Évaluer les impacts hydrologiques des pratiques culturales en milieu méditerranéen

Dans les bassins versants où les zones cultivées occupent une part importante de l'espace, les pratiques culturales sont un facteur important d'apparition de risques d'érosion du sol et de pollution diffuse des eaux par les pesticides. L'évaluation de ces risques est réalisée à deux échelles complémentaires : l'échelle de mise en œuvre des pratiques (parcelle culturale) et celle d'intégration de leurs effets (bassin versant).

À l'échelle de la parcelle, l'impact de différentes pratiques d'entretien des sols sur les états de surface du sol qui conditionnent le partage entre ruissellement et infiltration de l'eau et des matières associées est étudié. Une typologie des états de surface des sols basée sur l'organisation structurale de la surface du sol a été définie. Chacun des états de surface décrits est caractérisé par des propriétés d'infiltrabilité du sol. Sur la base de cette typologie fonctionnelle, il s'agissait de développer une démarche originale visant une modélisation continue dans le temps de l'infiltration à la parcelle.

Plusieurs trajectoires d'évolution des états de surface des sols en fonction des caractéristiques des sols, des événements climatiques et des itinéraires techniques, mis en œuvre par les viticulteurs ont été identifiés. Des expérimentations conduites sur des parcelles de vigne ont montré par ailleurs les effets de plusieurs pratiques d'entretien des sols (désherbage chimique, travail du sol, enherbement naturel ou semé, permanent ou temporaire) sur les transferts d'eau, d'érosion et de pesticides.

À l'échelle du bassin versant, l'évaluation s'appuie sur l'utilisation d'un modèle hydrologique distribué qui permet de simuler les flux d'eau et de matières associées selon différents scénarios de pratiques et climatiques. L'utilisation d'un tel modèle nécessite de connaître la répartition spatio-temporelle des opérations culturales à impact hydrologique (entretien du sol et traitements phytosanitaires) sur chacune des parcelles du bassin versant. En l'absence de données exhaustives sur les pratiques, le travail est orienté sur la construction d'un modèle décisionnel permettant de simuler les itinéraires techniques des agriculteurs (collaboration avec l'UMR Innovation et l'unité de Biométrie et Intelligence Artificielle à Toulouse).

Pour chaque exploitation du bassin versant, le modèle est basé sur une représentation de la conduite technique annuelle du vignoble sous forme de plans d'activités. Ces plans mettent en œuvre des indicateurs d'états de l'agrosystème (ex : pousse de l'herbe, portance du sol, stade phénologique de la vigne) et prennent en compte les caractéristiques des ressources productives de l'exploitation (parcellaire, matériel et main d'œuvre) ainsi que les arbitrages à réaliser entre opérations culturales et parcelles concurrentes.

Contacts : Anne Biarnès, biarnes@supagro.inra.fr & Patrick Andrieux, patrick.andrieux@supagro.inra.fr



▲ Plantation de caféier à Tarrazú.

L'ombrage est apporté ici par l'érythrine, une légumineuse qui fixe l'azote atmosphérique et supporte des tailles fréquentes. On peut donc moduler sa croissance en fonction des besoins du caféier. Sur ces pentes redoutables, les branches de l'érythrine et les produits de la taille du café offrent une protection appréciable au sol de la plantation.



© E. Scopel

▲ Évaluation participative des difficultés rencontrées (faible biomasse, contrôle imparfait de l'érosion, mauvaise implantation...) sur une parcelle de SCV en Amazonie brésilienne.

► Installation de pièges à scolytes BROCAP®.

▼ Piège à charançons dans une bananeraie, Martinique.

Concevoir et diffuser *des innovations*



Dans beaucoup de situations, les acteurs de la Recherche-Développement se plaignent du fait que les agriculteurs utilisent peu les innovations conçues par les chercheurs dans les laboratoires ou les domaines expérimentaux. Les raisons de cette non-adoption sont multiples et ont été au centre de nombreuses recherches, disciplinaires et interdisciplinaires, depuis plusieurs décennies. Ces travaux ont donné naissance au courant des « *farming systems research* » qui insiste sur la nécessité de connaître et de comprendre les rationalités, les stratégies et les pratiques des agriculteurs avant ou en même temps que l'on entreprend de concevoir, pour eux et éventuellement avec eux, des nouveautés.

Aujourd'hui, de nombreux projets tentent de développer des outils pour accompagner les agriculteurs dans la re-conception de leurs systèmes de production ; d'autres s'efforcent d'identifier et évaluer les mesures d'accompagnement publiques ou privés qui seraient les plus performantes pour créer un environnement favorable à la transformation de ces systèmes. La modélisation et la simulation jouent alors un rôle majeur, celle-ci étant parfois mobilisée au sein de collectifs d'acteurs pour négocier les types de changements à privilégier et les manières de les stimuler.

Dans ces travaux, les agronomes eux-mêmes s'impliquent de plus en plus pour (i) questionner, du côté des unités de recherche, le travail d'invention et de conception de nouveautés et améliorer les démarches de conception ainsi que la nature des références techniques produites, (ii) du côté du développement et du conseil agricole, étudier la manière dont les acteurs-prescripteurs en charge de diffuser la connaissance s'engagent et assurent la communication sur les alternatives techniques disponibles, (iii) étudier comment il est possible d'associer les connaissances scientifiques et les connaissances profanes dans l'invention de nouveaux systèmes plus facilement appropriables, et (iv) renouveler les approches « *farming system research* » en prenant beaucoup plus en compte la pluriactivité des ménages agricoles et la gestion des risques (climatiques, de marché, etc.). Ces travaux complètent ceux d'autres disciplines, notamment sociales et économiques, sur la question de l'adoptabilité des innovations par les agriculteurs et ils amènent à une modification des postures de recherche prenant plus en considération, dans l'analyse des processus, les acteurs autres qu'agriculteurs publics et privés, la conception des métiers des uns et des autres et, pour tous, les combinaisons d'activités.

Jean-Marc Barbier (UMR Innovation)



Concevoir et diffuser *des innovations*

Étude des processus *d'innovation individuels ou collectifs*

L'UMR Innovation et développement dans l'agriculture et l'agroalimentaire (Cirad, Inra Montpellier SupAgro) développe des travaux de recherche pluridisciplinaires en France et à l'international sur les processus d'innovation individuel ou collectif, qu'ils soient techniques, organisationnels ou institutionnels.

Les recherches s'intéressent à l'ensemble du processus, depuis les motivations et objectifs des acteurs pour innover, les manières concrètes de mettre en œuvre le changement et jusqu'aux effets de développement induits par ces innovations. L'UMR associe des compétences en agronomie et en sciences sociales.

L'UMR étudie « l'innovation située » en abordant l'innovation par l'analyse de processus d'action « en train de se faire » dans différents contextes, situations de changement et sur différents objets (techniques agricoles spécifiques, agricultures alternatives...). La mise en perspective de ces situations doit permettre de dégager des enseignements et connaissances à caractère générique. Les chercheurs se positionnent dans des principes de recherche-action en partenariat où ils participent aux modifications des objets de l'action et à celles de la configuration des acteurs impliqués.

L'UMR est organisée en trois équipes :
■ « Changements Techniques et Organisationnels dans les Systèmes de Production Agricole » (SPACTO) : centrée sur l'analyse des dynamiques

de changement techniques et organisationnels dans l'exploitation agricole ;

■ « Construction sociale des marchés, qualités et développement territorial » (MARQUALTER) : axée sur l'analyse des transformations des produits et des marchés ;

■ « Innovations territoriales » (IT) : focalisée sur l'analyse des dynamiques de territoires et ses conséquences sur l'agriculture, notamment dans le cas des situations urbaines et périurbaines.

Les travaux de recherche portant sur les systèmes de culture et de production agricole sont principalement développés par l'équipe SPACTO, avec le but de renforcer les capacités d'adaptation des exploitations agricoles familiales aux transformations de leur environnement (contraintes de marché ou environnementales). Cela est abordé par des approches descriptives et analytiques et par des dispositifs d'accompagnement dans lesquels les outils de modélisation et de simulation jouent un rôle important.

Cette équipe pluridisciplinaire (agronomes, économistes, sociologues) est organisée en trois axes :

■ analyse des transformations des systèmes de production agricoles et des systèmes d'activités des ménages ruraux et aide à la conception de systèmes techniques innovants à l'échelle de l'exploitation ;

■ évaluation ex-ante des conséquences à caractère territorial des transformations individuelles et analyse des relations entre exploitations agricoles et acteurs agissant à des niveaux d'organisation englobants (bassins versants...) ;

Les équipes

UMR Innovation
Innovation et développement
dans l'agriculture et l'agroalimentaire
(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)
51 scientifiques

Directeur : Christophe Soulard,
soulard@supagro.inra.fr
<http://umr-innovation.cirad.fr>
► Présentation page 50

UMR SYSTEM
Fonctionnement et conduite
des systèmes de culture tropicaux et
méditerranéens
(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)
21 scientifiques

Directeur : Christian Gary,
dirsystem@supagro.inra.fr
<http://umr-system.cirad.fr>
► Présentation page 52

UPR HortSys
Fonctionnement Agroécologique
et Performances des Systèmes de
Culture Horticoles
(Cirad)
30 scientifiques

Directeur : Éric Malézieux,
malezieux@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/hortsys
► Présentation page 32

**UPR Performance des systèmes de
culture des plantes pérennes**
(Cirad)
21 scientifiques

Directeur : Éric Gohet,
eric.gohet@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/systemes_de_perennes
► Présentation page 22

UPR SCA
Systèmes de cultures annuelles
(Cirad)
60 scientifiques

Directeur : Florent Maraoux,
florent.maraoux@cirad.fr
<http://ur-sca.cirad.fr>
► Présentation page 10

... suite page 52



▲ Semis direct de maïs sur résidus de récolte en situation de petite mécanisation. Province de Xayaboury, Laos.

F. Julien © AgriDev

L'adoption des SCV dans les pays du Sud

Les techniques SCV ont été adoptées au cours des trois dernières décennies principalement en Amérique du Sud et du Nord, et en Australie, où elles ont émergé de façon indépendante des systèmes nationaux de recherche et de vulgarisation. Ces changements techniques sont toutefois plus difficiles à mettre en œuvre dans les pays en voie de développement, de par la nature d'une majorité de leurs entreprises agricoles : taille réduite des exploitations, stratégies d'autosubsistance, prise de risque limitée, économie de ressources, rôle des échanges communautaires. Dans ces situations, la stratégie doit viser, d'une part, l'amélioration de l'accès des adoptants potentiels aux autres formes de capital (foncier, financier, humain/social) en complément au capital technique, et, d'autre part, une intervention sur l'environnement spatial et économique des exploitations : aménagement du territoire et filières agro-alimentaires.

L'exemple du Lac Alaotra, principale zone d'adoption des SCV à Madagascar, est intéressant à plus d'un titre. Près de 1 500 agriculteurs y pratiquent actuellement les SCV sur une superficie de 1 200 hectares. Les systèmes adoptés intègrent les plantes cultivées localement et présentent différents niveaux d'intensification, modulables selon les capacités et les objectifs des producteurs. Les organisations paysannes se sont structurées

et ont été progressivement mises en relation avec les différents acteurs impliqués dans la production agricole : instituts de micro-finance, banques, opérateurs privés, collectivités décentralisées, ONG. Au Laos, les exploitations agricoles familiales se différencient par le fait qu'elles sont fortement connectées au secteur privé : sociétés de commercialisation et de prestations de services notamment. Cette spécificité offre la possibilité de développer sur le court terme une approche croisant régions/territoires et filières d'intervention. Ainsi dans la province de Xayaboury, soumise à une importante pression sur les ressources naturelles (demande croissante d'agro-industries thaïlandaises en matière première), plus de 1 600 exploitations pratiquent aujourd'hui les SCV sur une surface totale avoisinant 2 000 hectares.

Les processus d'innovation observés dans ces deux contextes répondent réellement à des stratégies paysannes de « gestion des risques » et témoignent du fait qu'il est possible, avec une méthodologie adaptée, d'amorcer une adoption durable des SCV dans le cadre d'une agriculture familiale à ressources limitées.

Contacts : Stéphane Chabierski,
stephane.chabierski@cirad.fr
& Hoa Tran Quoc, hoa.tran_quoc@cirad.fr

■ évaluation et conception de dispositifs et de méthodes de conseil et d'accompagnement pour les exploitations agricoles.

Trois objets de recherche sont abordés : gestion de la production et choix des combinaisons d'activités (agricoles ou non) au sein des exploitations agricoles ; processus sociotechniques de transformation des modes de production ; processus de coordination entre acteurs.

Plusieurs terrains de recherche sont privilégiés :

■ France : viticulture (Languedoc-Roussillon) et systèmes céréaliers à base de riz (Camargue) ;
 ■ Afrique de l'Ouest (Madagascar), Maghreb et Brésil : systèmes rizicoles et systèmes de polyculture-élevage (notamment production laitière) ;
 ■ zone cotonnière africaine : systèmes agro-pastoraux ;
 ■ zone tropicale humide (Afrique et Amérique centrale) : systèmes agroforestiers.

SPACTO privilégie certaines formes d'innovation : (i) l'agriculture de conservation (France, Brésil), la protection intégrée (viticulture, France) et l'agriculture biologique

(vignes et céréales, France) ;
 (ii) l'amélioration des relations agriculture-élevage au sein des exploitations agricoles et des territoires (Brésil, Afrique de l'ouest, Madagascar), (iii) l'association d'espèces (agroforesterie en Afrique et Amérique centrale, vignes et céréales en France).

L'équipe collabore avec des agriculteurs et des organisations de producteurs, des équipes de recherche et d'enseignement du Nord et du Sud, des structures de développement, des opérateurs du secteur privé, des ONG et des bailleurs de fonds. ...

Viticulture biologique : analyse intégrée de la conversion à l'agriculture biologique



▲ Vigne en conversion à l'agriculture biologique.

© A. Mérot

L'agriculture biologique (AB) constitue un cadre privilégié pour la mise en place d'une agriculture plus durable en particulier pour les systèmes viticoles fortement consommateurs de produits phytosanitaires. Les conversions en agriculture biologique se développent rapidement en viticulture, surtout dans les vignobles méditerranéens (+ 20% entre 2006 et 2008 d'après l'Agence Bio) sans que les connaissances et les outils permettant d'analyser, de prévoir et d'accompagner cette rupture ne soient opérationnels. Il existe aujourd'hui une forte demande émanant à la fois des agriculteurs et des conseillers agricoles, mais aussi des entreprises et des coopératives. Pour combler cette lacune, est formulée l'hypothèse qu'une approche intégrée des dynamiques biophysiques, techniques, socioéconomiques et organisationnelles encadrant la phase de conversion à l'AB (avant, pendant les trois ans réglementaires et après) permet d'assurer une plus grande durabilité de cette innovation de rupture.

L'élaboration d'une telle approche se base sur une modélisation conceptuelle du système viticole en rupture vers l'AB qui vise à formaliser les connaissances scientifiques et expertes sur les systèmes viticoles. La démarche implique d'une part d'identifier des indicateurs pertinents pour l'accompagnement de la trajectoire de conversion à l'AB. D'autre part, il s'agit

de modéliser le fonctionnement du système viticole pendant la phase de conversion à la fois sous l'angle de la dynamique des trajectoires biophysiques (échelle parcellaire) et la dynamique technique et décisionnelle (échelle de l'exploitation agricole). Les résultats attendus sont de quatre ordres : i) une meilleure connaissance de la trajectoire de conversion à l'AB, ii) l'identification d'indicateurs d'analyse et de pilotage de la conversion et la mise en place d'une démarche formalisée d'analyse systémique d'un système viticole, iii) la mise en place d'un réseau d'exploitations viticoles et de parcelles en AB pour suivre sur le long terme l'impact de la conversion, et iv) la formalisation de connaissances nécessaires à l'élaboration de fiches-conseil et de formations professionnelles pour accompagner la conversion à l'AB.

Contact : Anne Mérot, anne.merot@supagro.inra.fr

Conception de systèmes de culture alliant performance économique et respect des ressources naturelles et environnementales

des associations d'espèces peuvent être raisonnés, aux échelles de la parcelle, de l'exploitation ou du territoire, pour concevoir et conduire ces systèmes plurispécifiques multifonctionnels.

Les recherches portent principalement sur des associations de plantes pérennes à fonctions productives (fruits, bois) avec des espèces à fonctions de service visant à optimiser les performances du système avec une utilisation limitée d'intrants. Les systèmes de culture modèle sont :

- les systèmes sylvo-arables (culture en rang et mécanisée d'arbres et de plantes à graines ou fourragères) ;
- les systèmes caféiers avec des arbres d'ombrage ;
- les systèmes viticoles avec des cultures intercalaires ;
- les agroforêts à caféiers ou à cacaoyers.

L'unité est organisée autour de deux équipes :

■ L'équipe « Analyse et Modélisation du champ cultivé PLUriSpécifique » (AMPLUS) produit des connaissances sur le fonctionnement biophysique des champs cultivés plurispécifiques afin d'en optimiser la structure

Les équipes

UPR SIA Systèmes et ingénierie agronomique
(Cirad)

13 scientifiques

Directeur : Jean-Claude Legoupil,
jean-claude.legoupil@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/couverts_permanents
► Présentation page 12

UR PSH

Plantes et Systèmes de culture Horticoles
(Inra)

28 scientifiques

Directeur : Michel Génard,
michel.genard@avignon.inra.fr
www4.paca.inra.fr/psh
► Présentation page 8

UPR Systèmes de culture bananiers plantains ananas
(Cirad)

18 scientifiques

Directeur : Jean-Michel Risède
jean-michel.risede@cirad.fr
www.cirad.fr/ur/systemes_bananes_ananas
► Présentation page 24

L'UMR Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (SYSTEM, Cirad, Inra, Montpellier SupAgro) travaille dans le domaine de l'agronomie systémique. Elle produit des connaissances et des outils permettant d'évaluer et de concevoir des systèmes de culture alliant performance économique et respect des ressources naturelles et de l'environnement. L'accent est mis sur l'utilisation de la diversité biologique des espèces cultivées et le pilotage de leur association pour assurer des performances agronomiques régulières (rendement, qualité) dans des conditions socialement acceptables, tout en limitant les impacts environnementaux et l'utilisation des ressources naturelles.

L'hypothèse centrale testée est que la structure et le mode de conduite

et le pilotage dans une optique de multifonctionnalité et sous contrainte d'un climat et d'un système de production.

■ **L'équipe « Conception de SYSTèmes de culture » (CONSYST)** développe des méthodologies permettant d'évaluer les systèmes existants et d'en concevoir de nouveaux, sur la base des principes agro-écologiques présentés ci-dessus, dans un contexte socio-économique et biophysique donné.

Ces équipes travaillent avec une équipe technique et d'ingénierie (« Systèmes de culture, modélisation, expérimentation ») pour produire des indicateurs, des modèles et des outils, en partenariat avec des organismes de développement et des entreprises.

En agroforesterie tempérée, un dispositif d'expérimentation de longue durée (Vézénobres, Restinclières) permet de comparer des parcelles agroforestières à des

témoins agricoles et forestiers. L'unité y joue un rôle d'animation vis-à-vis d'autres équipes de recherche et de développement.

En systèmes viticoles intégrés, des systèmes de culture fournisseurs de services environnementaux sont expérimentés au domaine du Chapitre (Hérault). Une expérimentation de longue durée sur des systèmes à bas niveau d'intrants sera mise en place avec le Domaine viticole de l'Inra de Bordeaux et les partenaires du développement (Institut Français de la Vigne et du Vin, interprofessions).

Pour les systèmes agroforestiers tropicaux (parcelles paysannes et expérimentales au Costa Rica et au Cameroun), le pôle de compétences en partenariat (PCP) *Agroforestry Systems with Perennial Crops* au Costa Rica formalise les relations avec le *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza* et diverses institutions en Amérique centrale. Le

PCP « Grand Sud Cameroun » associe plusieurs unités du Cirad avec l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement, les universités de Dschang et de Yaoundé 1.

L'Association Française d'Agroforesterie constitue le lien fort de l'unité avec le développement agricole pour le transfert des connaissances de la recherche au terrain. L'UMR tire aussi partie du réseau montpellierain du projet *Towards a federative research on modelling and simulation platforms* et de celui du projet *Record* qui facilitera les échanges au sein d'un réseau international sur la modélisation intégrée des systèmes agricoles. De plus, le partenariat européen initié par l'unité dans le projet *Seamless* (Évaluation intégrée des systèmes agricoles) se pérennise dans l'association du même nom qui servira de cadre à de nouvelles initiatives avec les universités de Wageningen et de Bonn. ■

Production durable et innovation pour les petits producteurs du Sud

L'amélioration et la stabilisation de la production agricole des petits agriculteurs du Sud font partie des principaux enjeux de la recherche agronomique internationale. Or les milieux tropicaux présentent généralement des sols divers mais fragiles et des climats agressifs, avec une perspective accrue d'événements catastrophiques. De plus, les petits producteurs y rencontrent souvent des conditions socioéconomiques difficiles et instables, avec un accès limité aux marchés et au crédit. Dans un tel contexte, les systèmes innovants à proposer doivent protéger et valoriser pleinement les ressources naturelles disponibles sur le court et sur le long terme, maintenir, voire accroître, la productivité, et limiter les impacts environnementaux des activités agricoles. C'est pourquoi le Cirad s'est engagé, avec ses partenaires du Nord et du Sud, dans un processus de conception/évaluation de systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale (SCV) adaptés aux conditions tropicales.

Ces systèmes sont basés sur le non-travail du sol, sa couverture permanente par une couverture végétale, des rotations diversifiées ainsi que de l'introduction de plantes de couverture



© E. Scopel

multifonctionnelles. Ils se sont révélés efficaces pour stabiliser la production de grains (meilleure valorisation de l'eau et de nutriments) et pour améliorer certains services écosystémiques (contrôle de l'érosion, stockage du carbone, biologie des sols...). Des travaux de modélisation, tant à l'échelle de la parcelle qu'à celle de l'exploitation, permettent de mieux caractériser le fonctionnement complexe de ces systèmes ainsi que d'évaluer leur potentielle insertion au sein des systèmes de production. Pour dynamiser leur diffusion, une démarche participative de co-conception de ces systèmes de culture innovants est actuellement mise en place dans différents pays. Elle passe par de nombreux échanges entre les chercheurs de différentes disciplines, les techniciens et les différents types de producteurs concernés, contribuant ainsi fortement aux apprentissages croisés nécessaires de part et d'autre et à la familiarisation progressive des producteurs avec ces SCV.

Contacts : **Éric Scopel**, eric.scopel@cirad.fr
François Affholder, francois.affholder@cirad.fr
Marc Corbeels, marc.corbeels@cirad.fr
Bernard Triomphe, bernard.trimphe@cirad.fr
Pablo Tittonell, pablo.tittonell@cirad.fr
Damien Jourdain, damien.jourdain@cirad.fr
& **Éric Sabourin**, eric.sabourin@cirad.fr

▲ *Haricot en SCV à Madagascar.*

Des filets anti-insecte adaptés aux cultures maraîchères tropicales



© T. Martin

▲ **M. Tonou, maraîcher à Ouidha, Bénin,**
expliquant à ses collègues l'utilisation des filets anti-insectes pour la protection des cultures de choux.

induites au niveau des pratiques culturales sont définies dans le cadre d'un prototypage qui prend en compte les contraintes du système de culture identifiées lors d'un diagnostic préliminaire. L'extension de l'utilisation de filets anti-insectes en agriculture offre par ailleurs une opportunité pour le recyclage des moustiquaires utilisées dans le cadre de la lutte contre le paludisme. L'utilisation de filets anti-insectes sera étudiée pour d'autres cultures maraîchères comme la tomate et les légumes-feuilles ainsi que sa combinaison avec d'autres méthodes alternatives de contrôle des bioagresseurs.

En zone tropicale, les cultures maraîchères sont infestées toute l'année par une grande diversité de ravageurs qui incitent les producteurs à recourir fréquemment aux pesticides. Si la lutte chimique anarchique et incontrôlée permet tant bien que mal de dégager des bénéfices, elle constitue un danger pour la santé des consommateurs à travers les résidus potentiels dans les légumes et un risque certain de pollution des nappes phréatiques. Il est aujourd'hui urgent d'élaborer des méthodes alternatives de maîtrise des ravageurs qui soient moins dépendantes des intrants chimiques. Au Bénin, le principe de la moustiquaire a été adapté à la protection des cultures de choux : un filet en polyester mis en place en fin de journée au dessus de la culture a empêché les ravageurs, nocturnes pour la plupart, de l'atteindre pour s'y nourrir ou pondre leurs œufs.

Cette technique, économiquement rentable et durable mais également facile à appréhender par les maraîchers, a permis de diviser par dix le nombre de traitements insecticides tout en améliorant la production. La lutte physique se révèle bien adaptée aux petites exploitations qui emploient une main-d'œuvre familiale. Le développement de cette technologie s'inscrit dans une approche participative impliquant tous les acteurs de la filière. Les modalités de la lutte physique et les modifications

Contacts : Thibaud Martin, thibaud.martin@cirad.fr & Serge Simon, serge.simon@cirad.fr

Innover et accompagner les exploitations de polyculture élevage (Burkina Faso)

Dans les zones de savane d'Afrique subsaharienne, la vulgarisation d'innovations techniques par secteur de production a montré ses limites. Entre autres, elle ne permet pas de résoudre des questions complexes comme la gestion de la fertilité des sols, la mise en synergie des productions animales et végétales ou l'évolution de l'assolement au niveau de l'exploitation.

En zone cotonnière au Burkina Faso, le Cirad développe des outils et une démarche d'accompagnement des agriculteurs pour faire évoluer leur système de production. Il s'agit d'aider les producteurs à concevoir des systèmes agricoles innovants, économiquement rentables, socialement acceptables et valorisant au mieux les investissements en intrants (engrais, aliments du bétail concentrés) et les processus écologiques (recyclage de la biomasse herbacée). Ces recherches s'appuient sur les résultats techniques déjà acquis et les savoirs et savoir-faire paysans. Ainsi sont évaluées avec les producteurs les possibilités d'adoption et d'adaptation de ces acquis.

Au-delà de ce travail mené avec les producteurs, des outils de modélisation du fonctionnement des exploitations de polyculture élevage sont développés, qui permettent d'engager une discussion avec eux sur l'évolution souhaitable et souhaitée de leur exploitation.

Ces outils permettent aux producteurs, mais aussi aux conseillers agricoles, d'évaluer différents scénarios d'évolution des unités de production en termes de revenu monétaire et de sécurité alimentaire, de bilan de fertilité des sols ou encore de bilan fourrager pour les différents ateliers d'élevage. Par exemple, ils permettent d'évaluer la faisabilité et l'impact de l'insertion d'une culture fourragère dans l'assolement ou de l'augmentation du nombre d'animaux à emboucher.

À terme, ces outils informatisés seront valorisés par des conseillers pour aider les producteurs à prendre leurs décisions stratégiques (choix d'activités, dimensionnement des ateliers de production, planification des interventions techniques). Cette démarche est développée en partenariat avec les agriculteurs et les organismes de développement dans d'autres situations de polyculture élevage au Brésil et à Madagascar.

**Contacts : Nadine Andrieu, nadine.andrieu@cirad.fr
Patrick Dugue, patrick.dugue@cirad.fr
& Pierre-Yves Le Gal, pierre-yves.le_gal@cirad.fr**

► *Sarclage mécanique du cotonnier, la traction bovine reste un élément central de l'intégration agriculture-élevage dans l'ouest du Burkina Faso.*



Thématiques couvertes par les équipes de recherche

(Juillet 2012)

Les différentes unités et équipes de recherche apparaissant dans le texte de ce dossier sont consignées dans le tableau ci-dessous.

1. Assurer une production alliant quantité et qualité
2. Minimiser l'impact des cultures sur les cycles biogéochimiques
3. Réguler les populations de bioagresseurs et optimiser l'usage des produits phytosanitaires

4. Préserver les ressources en eau
5. Concevoir et diffuser des innovations

Page : présentation de l'équipe

Unités	page	1	2	3	4	5
UMR LEPSE - Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes sous Stress Environnementaux (Inra, Montpellier SupAgro) Bertrand Muller	40	•			•	
UMR Eco&Sols - Écologie fonctionnelle et Biogéochimie des Sols & Agro-écosystèmes (Cirad, Inra, IRD, Montpellier SupAgro) Jean-Luc Chotte	20		•			
UMR Innovation - Innovation et développement dans l'agriculture et l'agroalimentaire (Cirad, Inra, Montpellier SupAgro) Christophe Soulard	50	•		•		•
UMR LISAH - Laboratoire d'étude des Interactions Sol - Agrosystème - Hydrosystème (Inra, IRD, Montpellier SupAgro) Jérôme Molénat	42				•	
UMR SYSTEM - Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens (Cirad, Inra, Montpellier SupAgro) Christian Gary	52	•	•	•	•	•
UPR HortSys - Fonctionnement Agroécologique et Performances des Systèmes de Culture Horticoles (Cirad) Éric Malézieux	32	•	•	•		•
UPR Bioagresseurs : analyse et maîtrise du risque (Cirad) Christian Cilas	30			•		
UPR Performance des systèmes de culture des plantes pérennes (Cirad) Éric Gohet	22	•	•			•
UPR Recyclage et risque (Cirad) Jean-Marie Paillat	24		•			
UPR SCA - Systèmes de cultures annuelles (Cirad) Florent Maraux	10	•	•	•	•	•
UPR SIA - Systèmes et ingénierie agronomique (Cirad) Jean-Claude Legoupil	12	•	•	•	•	•
UPR Systèmes de culture bananiers plantains ananas (Cirad) Jean-Michel Risède	34	•	•	•	•	•
UR PSH - Plantes et Systèmes de culture Horticoles (Inra) Michel Génard	8	•	•	•		•



Insertion de la communauté scientifique dans des réseaux nationaux et internationaux



L'Association Française d'Agronomie

L'Association Française d'Agronomie (AFA) a été créée en octobre 2008 pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Les adhérents individuels sont agents du développement, agriculteurs, chercheurs, enseignants, ingénieurs dans des firmes d'agrofourmiture ou de transformation, responsables dans des administrations ou des associations, etc. Certains exercent au niveau local, d'autres à l'échelle nationale ou internationale. Un certain nombre de personnes morales (organismes de recherche, structures de développement, établissements d'enseignement, entreprises privées) ont également déjà adhéré pour soutenir cette jeune association.

Pour l'AFA, le terme « Agronomie » désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Étude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions

en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large).

Plus encore qu'une société savante, l'AFA, veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales :

- développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ;
- contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Les activités de l'AFA se développent autour de différents projets :

- L'animation de cinq groupes de travail est réalisée avec un objectif de production concrète permettant à l'agronomie et aux agronomes d'être plus présents dans la société. Ces groupes de travail sont les suivants : Évolution et perspectives de l'agronomie ; Capitalisation et transmission des savoirs en agronomie ; L'agronomie et les disciplines partenaires ; L'agronomie face au contexte politique et socioéconomique : quel rôle pour les agronomes dans l'élaboration des décisions publiques ? ; Les « jeunes agronomes » dans l'AFA.
- La maîtrise d'œuvre d'un événement bisannuel (en septembre des années impaires), « Les Entretiens du Pradel », sur le lieu historique du Domaine d'Olivier de

Contacts

Association Française d'Agronomie (AFA)

250 adhérents

Président : Thierry Doré,
Secrétaire Exécutif : Philippe Prévost,
prevostp@supagro.inra.fr
www.agronomie.asso.fr

Société Européenne d'Agronomie (ESA)

Président : Fred Stoddart,
president@european-agronomy.org
Secrétaire Exécutif : Jacques Wery,
secretary@european-agronomy.org
www.european-agronomy.org

Serres (Ardèche), a pour objectif de débattre de sujets de prospective pour l'agronomie entre agronomes de la recherche, du développement et de la formation, et en présence d'acteurs de la société civile.

■ La diffusion d'informations et de savoirs à l'usage des agronomes et du grand public, se fait à travers différents médias (site internet, projet de revue électronique « *Agronomie, Environnement et sociétés* », différents ouvrages, etc.).

■ La participation à des événements co-organisés (congrès, colloques, séminaires, conférences, etc.) avec des partenaires (organismes de recherche, organismes professionnels, associations professionnelles, etc.) et sur des sujets d'intérêt commun.

L'Association Française d'Agronomie est partenaire de l'*European Society for Agronomy*.



La Société Européenne d'Agronomie

La Société Européenne d'Agronomie (ESA), créée en 1990, a quatre objectifs principaux :

■ promouvoir la recherche agronomique en Europe ;
■ être un lien entre recherche et développement dans le domaine de l'agronomie ;

■ promouvoir la diffusion d'informations, à travers des outils tels que le *Journal Européen d'Agronomie*, la lettre d'information et le site internet de l'ESA ;

■ coopérer avec des organisations ayant des buts similaires en Europe et dans le monde.

L'ESA vise à rapprocher les agronomes, chercheurs et enseignants, concernés par la recherche fondamentale ou appliquée, et incluant les domaines suivants : relations « plantes-sols-bioagresseurs-climats-pratiques culturelles », relations entre agriculture et environnement. Elle offre un espace de dialogue entre scientifiques et utilisateurs des résultats de la recherche, en vue d'échanger des informations et des expériences, et de développer des projets en collaboration.

L'ESA est organisée en trois divisions scientifiques :

■ D1. Biologie systémique des plantes cultivées : fonctionnement intégré de la plante cultivée ;
■ D2. Agroécologie à l'échelle de la parcelle : le champ cultivé en tant qu'écosystème ;
■ D3. Les systèmes de cultures aux niveaux de l'exploitation, de la région et global : approche multi-échelle des systèmes de culture.

L'ESA a des représentations nationales dans près de 20 pays européens. Elle collabore avec les sociétés nationales d'agronomie

(Allemagne, Italie et France) et avec les sociétés américaines et australiennes d'agronomie.

Tous les deux ans, l'ESA organise un congrès scientifique (2010 à Montpellier, France ; 2012 en Finlande). Entre deux congrès, elle co-organise avec plusieurs sociétés scientifiques des symposiums thématiques, notamment le *Farming System Design symposium* (2011 à Brisbane, Australie).

Lancé en 1992, le *Journal Européen d'Agronomie* est publié par Elsevier Science, le comité scientifique étant composé de membres de l'ESA. Il est aujourd'hui le journal leader en agronomie, avec un facteur d'impact de 2,376 in 2008.

La lettre d'information de l'ESA (*ESA newsletter*) est publiée deux fois par an, et s'adresse aux membres de la Société et à ses partenaires. ■

Les formations à Agropolis International

dans le domaine de l'agronomie

Agropolis International, au travers de ses établissements membres, universités et écoles d'ingénieurs (et institutions spécialisées dans la formation continue), propose une offre de formation complète.

Cela représente plus de 80 formations diplômantes (de bac +2 à bac +8 : technicien, ingénieur, licence, master, doctorat...) ainsi qu'une centaine de modules de formation continue (préexistants ou à la carte).

Les tableaux présentés ci-après détaillent les formations relevant du domaine de l'agronomie. Ils précisent les niveaux de diplômes, les intitulés des formations et les établissements opérateurs.

Les formations diplômantes

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac +1	Diplôme d'Université	Oléologie	UM1
Bac +2	Brevet de Technicien Supérieur (BTS)	Technologies végétales	Lycée Frédéric Bazille Agropolis
		Viticulture-Cœnologie	Lycée Frédéric Bazille Agropolis
Bac +3	Licence professionnelle	Agriculture raisonnée et certification environnementale	Montpellier SupAgro, UM3, EPLEFPA Carcassonne
		Viticulture raisonnée et certification environnementale	Montpellier SupAgro, UM3
Bac +5	Master recherche	Biologie, géosciences, agroressources, environnement (BGAE) Parcours « Fonctionnement des écosystèmes naturels et cultivés » (FENEC)	UM1, UM2, Cirad
	Master d'École d'ingénieur	Agriculture, agronomie et agroalimentaire Spécialité « Horticulture méditerranéenne et tropicale » (HortiMet)	Montpellier SupAgro, Agrocampus Ouest, Cirad
		Agriculture, agronomie et agroalimentaire Spécialité « Santé des plantes »	Montpellier SupAgro, AgroParisTech, Agrocampus Ouest
		Agriculture, agronomie et agroalimentaire Spécialité « Systèmes agraires tropicaux et gestion de développement » (SAT)	Montpellier SupAgro
		Agriculture, agronomie et agroalimentaire Spécialité « Systèmes et techniques innovants pour un développement agricole durable » (STIDAD) Parcours « Production et évaluation des systèmes de production agricole » (CESPA)	Montpellier SupAgro, Cirad
		Agriculture, agronomie et agroalimentaire Spécialité « Viticulture, Cœnologie, Economie et Gestion Viti-Vinicole »	Montpellier SupAgro, ENITA Bordeaux
	Master européen	Développement agricole durable / <i>Sustainable development in agriculture</i> (AGRI MUNDUS)	Montpellier SupAgro & 5 Universités européennes
		Viticulture et œnologie / Vinifera EuroMaster	Montpellier SupAgro, ENITA Bordeaux & 9 Universités européennes

Niveau	Diplôme	Intitulé de la formation et spécialité	Établissement
Bac +5	Ingénieur	Ingénieur agronome Spécialisation « Productions végétales durables »	Montpellier SupAgro
		Ingénieur agronome Spécialisation « Protection des plantes et environnement »	Montpellier SupAgro, AgroParisTech, Agrocampus Ouest
		Ingénieur agronome Spécialisation « Viticulture-Céologie »	Montpellier SupAgro
		Ingénieur « Systèmes agricoles et agro-alimentaires durables au Sud » Spécialisation « Développement agricole et rural »	Montpellier SupAgro
		Ingénieur ISTOM Agrodéveloppement international	ISTOM
Bac +8	Doctorat	Systèmes intégrés en biologie, agronomie, géosciences, hydrosociences, environnement - ED 477 SIBAGHE	AgroParisTech, Montpellier SupAgro, UM1, UM2, UPVD

Les formations courtes non diplômantes

Établissement	Intitulé de la formation
Cirad	Identification des ravageurs des cultures maraîchères en zones périurbaines tropicales (5 jours)
	Impact agronomique et environnemental de la gestion des matières organiques. Application aux pays du Sud (5 jours)
	Impact agronomique et environnemental de la gestion des matières organiques en milieu tropical (4 jours)
	L'expertise acridienne : la lutte contre les criquets ravageurs (à la demande)
	Modélisation des cultures avec la plate-forme ECOTROP (5 jours)
	Racin'situ : caractérisation du développement racinaire in situ des cultures annuelles et pérennes (5j)
	Techniques d'application en lutte antiacridienne et protection des plantes
	Fertilisation canne à sucre (4j)
	Agronomie hévéa (à la demande)
	Agronomie palmier à huile (à la demande)
	Agronomie café (à la demande)
	Agronomie cacaoyer (à la demande)
	Agronomie bananes et plantains (à la demande)
	Formation sur la diagnostic de la maladie des raies noires du bananier au champ et méthodologie de l'avertissement biologique (2j)
	Agronomie mangue (à la demande)
	Agronomie ananas (à la demande)
	Agronomie agrumes (à la demande)
	Agronomie « Cultures maraîchères » (à la demande)
	Culture de la tomate hors sol sous serre en condition tropicale (à la demande)
Montpellier SupAgro	Agroforesterie
	Les acariens phytophages et prédateurs en arboriculture
	Les cochenilles en cultures pérennes (14 heures)
	Les diptères d'importance agronomique: reconnaissance et éléments biologiques (3 jours)
	Les insectes d'importance agronomique : pratique de l'identification au laboratoire (5 jours)
	Formateur au contrôle des pulvérisateurs (21 heures)

Les formations à Agropolis International

École doctorale en rapport
avec l'Agronomie

© E. Malezieux



D'une durée de trois ans, le doctorat sanctionne un travail de recherche dans un laboratoire. Tout étudiant s'inscrivant en doctorat est en outre rattaché à une école doctorale. Les écoles doctorales regroupent les unités de recherche ou laboratoires d'accueil autour de grandes thématiques. Elles ont pour mission, outre l'encadrement scientifique direct des doctorants, d'offrir des compléments de formation apportés pendant les trois années de préparation de la thèse sous forme de séminaires et conférences scientifiques et de modules de formation. Ces modules ont pour but d'améliorer la formation scientifique des doctorants et de mieux préparer leur avenir professionnel. Une seule école doctorale est concernée par la thématique de l'agronomie :

l'UM2 pour les Sciences de la Vie et de la Terre. Elle est co-accréditée avec Montpellier SupAgro et AgroParisTech pour les Sciences agronomiques et environnementales, avec l'université pour la génomique et le développement végétal, la microbiologie et la parasitologie, pour l'écologie des maladies émergentes et les sciences de l'eau.

L'école doctorale SIBAGHE compte environ 400 doctorants et s'appuie sur 40 unités de recherche qui lui sont rattachées, 450 encadrants et plusieurs équipes de recherche extérieures associées. Chaque doctorant de l'école doctorale SIBAGHE doit justifier du suivi de deux modules de formation scientifique et de deux modules d'ouverture professionnelle. L'école doctorale gère les inscriptions en thèse, assure le suivi des doctorants, veille au respect de la charte de thèse et organise les cours de thèse et aide à l'insertion professionnelle. Elle est assistée d'un conseil et gérée par un bureau.

Dans le domaine de l'agronomie, l'école doctorale SIBAGHE accueille des thèses sur le fonctionnement des agrosystèmes, l'amélioration des plantes et ressources génétiques, les interactions « sol-agrosystèmes-hydrosystèmes », le contrôle des ravageurs et la gestion des résistances aux bioagresseurs. ■

Contacts et coordonnées

École doctorale « Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences, Environnement »
(ED SIBAGHE n°477)

(UM2, Montpellier SupAgro, AgroParisTech, UAPV, UMI, UPVD)

Directeur : Bernard Godelle,
godelle@univ-montp2.fr

Administration : Joelle Lopez,
Joelle.Lopez@univ-montp2.fr

& David Martinie,
David.Martinie@univ-montp2.fr
www.sibaghe.univ-montp2.fr

École doctorale
« *Systèmes Intégrés en
Biologie, Agronomie,
Géosciences,
Hydrosociences,
Environnement* »
(SIBAGHE)

L'école doctorale SIBAGHE (Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences, Environnement), est une école de

Module de formation numérique sur l'impact agronomique et environnemental de la gestion de matières organiques



Dans les pays du Sud, les matières organiques sont souvent l'intrant principal des systèmes de production agricole. Dans les pays du Nord comme du Sud,

l'intérêt grandissant du recyclage des matières organiques en agriculture oblige à estimer leur efficacité agronomique et leur impact environnemental. Dans ce domaine, le Cirad et ses partenaires ont mis au point des indicateurs adaptés aux zones tropicales et des modèles de simulation fiables et faciles à utiliser par les acteurs sur le terrain.

Sur cette base a été élaboré un module de formation proposant une approche globale de la valorisation des matières organiques et des déchets, d'en connaître les atouts et les risques écologiques, et d'acquérir les méthodes de mesure au champ et au laboratoire. L'originalité de cette formation comme indiquée ci-dessus est la prise en compte des spécificités des pays du Sud, qu'il s'agisse des aspects logistiques, écologiques ou réglementaires.

Cette formation s'adresse à un public d'agronomes, d'environnementalistes ou d'acteurs de la transformation des déchets. Elle a été développée dans le cadre de l'Université Virtuelle Environnement et Développement (UVED) sous forme de cours numérique pouvant être incorporés dans des cursus de niveau Master ou Doctorat.

Les thématiques abordées portent sur :

- la matière organique : sa fonction et sa transformation ;
- les principales sources de matières organiques ;
- les méthodes et outils de mesure ;
- le potentiel agronomique ;
- l'évaluation environnementale ;
- les normes et la réglementation.

Cette formation s'appuie sur de nombreuses études de cas concrètes.

Contact : Francis Ganry, francis.ganry@cirad.fr

Pour en savoir plus : <http://uved-mat.org.cirad.fr>

Dispositif de formation d'ingénieurs et chercheurs en agronomie : spécialité d'Ingénieur « Production Végétale Durable » et Master « Agronomie et systèmes de Culture Innovants » de Montpellier SupAgro

Cette formation d'ingénieurs agronomes et de master est proposée par le département Milieu, Production, Ressources et Systèmes de Montpellier SupAgro (MPRS, directeur : J. Wéry). Elle est ouverte aux étudiants en formation initiale comme en formation continue, du Nord comme du Sud, qui souhaitent acquérir une formation d'agronomie systémique de niveau international. Elle débouche sur les métiers de l'ingénierie agronomique ainsi que sur la formation doctorale au sein de l'école doctorale SIBAGHE.

L'objectif est de former des ingénieurs et chercheurs citoyens du monde par

- Une formation méthodologique approfondie
- Des bases solides en agroécologie et en analyse intégrée des systèmes agricoles
- Un savoir faire de confrontation au réel qu'il soit physique, économique, écologique et/ou humain
- Une aptitude à mobiliser connaissances et réseaux.

La formation leur confère la capacité à formuler une question et de la traiter scientifiquement à partir d'études de cas conduites en partenariat avec des entreprises, organismes de développement ou institutions publiques.

Cette formation prend en compte les enjeux de l'intensification écologique et pratique l'interpénétration des disciplines pour renforcer la formation à l'ingénierie. Elle favorise et multiplie

les mises en situation : un module de diagnostic sur le terrain, un voyage d'étude des filières et du développement territorial, un projet d'ingénieur en vraie grandeur financé par un commanditaire et géré par les étudiants.


Elle comporte 10 Unités d'Enseignement (soit environ 400 heures d'enseignement) autour des thématiques suivantes :

- Problématique de l'intensification écologique
- Initiation au diagnostic agronomique in situ
- Analyse spatiale des systèmes de cultures et sols
- Statistiques appliquées à l'agronomie
- Fonctionnement écologique des sols
- Fonctionnement des écosystèmes cultivés
- Ingénierie agroécologique
- Épistémologie
- Approche régionale et filières (incluant 1 semaine de voyage)
- Méthodologie d'approche des problèmes et du projet

Elle comporte en complément 6 semaines de terrain/projet et un stage de 5 à 7 mois en entreprises, en organismes de développement, en bureaux d'études ou en organisme de recherche finalisée, en fonction du projet personnel de l'étudiant et dans le cadre d'un tutorat personnalisé. Le stage donne lieu à la rédaction d'un mémoire d'Ingénieur/Master et à une soutenance.

Contact : Alain Capillon, capillon@supagro.inra.fr





“ On ne nourrira pas la population mondiale avec des paysans soumis, pauvres et sans instruction... ”

Louis Malassis
Président fondateur d'Agropolis International

Liste des acronymes *et abréviations*

AB	Agriculture biologique
ACV	Analyse de Cycle de Vie
AFA	Association Française d'Agronomie
CARBaP	Centre Africain de Recherches sur Bananiers et Plantains
CASCA	Systèmes agroforestiers caféiers en Amérique Centrale (<i>Coffee Agroforestry Systems in Central America</i>)
CATIE	Centre Agronomique Tropical de Recherche et d'Enseignement (<i>Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza</i>)
CEH	Centre d'Ecologie et d'Hydrologie (<i>Centre for Ecology and Hydrology</i>)
Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
DVS	Diversité végétale spécifique
ENITA	Ecole Nationale d'Ingénieur des Travaux Agricoles
EPLEFPA	Etablissement Public Local d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricole
ESA	Société Européenne d'Agronomie (<i>European Society for Agronomy</i>)
ET	Élément trace
INAT	Institut National Agronomique de Tunisie
Inra	Institut National de la Recherche Agronomique
INRGREF	Institut National de Recherche du Génie Rural et des Eaux et Forêts (Tunisie)
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
ITBAN	Institut technique de la banane
OMERE	Observatoire Méditerranéen de l'Environnement Rural et de l'Eau
ONG	Organisation non gouvernementale
PCP	Pôle de compétences en partenariat
RID	Densité d'intersections racinaires (<i>root intersection density</i>)
RLD	Densité de longueur racinaire (<i>root length density</i>)
SAF	Système agroforestier
SCV	Semis direct sur couverture végétale permanente
SdC	Système de culture
UAPV	Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse
UGPBAN	Union des Groupements de producteurs de bananes de Guadeloupe et Martinique
UM1	Université Montpellier 1
UM2	Université Montpellier 2
UM3	Université Montpellier 3
UMR	Unité mixte de recherche
UPR	Unité propre de recherche
UPVD	Université de Perpignan <i>Via Domitia</i>
UR	Unité de recherche
UVED	Université Virtuelle Environnement et Développement

Les organismes membres et
partenaires d'Agropolis International
impliqués dans ce dossier

AgroParisTech

Cirad

Inra

IRD

ISTOM

Montpellier SupAgro

UAPV

UM1

UM2

UM3

UPVD

Directeur de la publication : Bernard Hubert

Coordinateur scientifique : Jacques Wery
(Montpellier SupAgro)

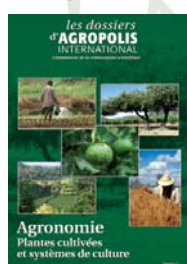
Réalisation : Isabelle Amsellem (Agropolis Productions),
Fabien Boulrier (Agropolis International),
Nathalie Villemejeanne (Agropolis International)

Ont participé à ce numéro : François Affholder,
Euloge K. Agbossou, Nadine Andrieu, Patrick Andrieux,
Sandrine Auzoux, Jacques Avelino, Régis Babin,
Jean-Marc Barbier, Claudine Basset-Mens, Anthony Benoist,
Cécile Bessou, Anne Biarnès, Matthieu Bravin,
Jean-Pierre Caliman, Roselyne Calmel, Alain Capillon,
Yvan Capowiez, Christine Casino, Philippe Cattani,
André Chabanne, Stéphane Chabierski, Lydie Chapuis-Lardy,
Jean-Louis Chopart, Jean-Luc Chotte, Christian Cilas, Pascal
Clouvel, Marc Corbeels, François Côte, Hubert Devautour,
Emmanuel Doelsch, Bernard Dufour, Patrick Dugue,
Christian Dupraz, Francis Forest, Eric Fouré, Pierre Franck,
Francis Ganry, Christian Gary, Michel Génard, Éric Gohet,
François Guerrin, Hervé Guibert, Philippe Hinsinger,
Philippe Hornus, Frédéric Jacob, Patrick Jagoret,
Magalie Jannoyer, Damien Jourdain, Nathalie Lamanda,
Claire Lavigne, Éric Lebon, Edith Lecadre Barthelemy,
Mathieu Léchaudel, Pierre-Yves Le Gal, Caroline Lejars,
Jean-Paul Lhomme, Joëlle Lopez, Éric Malézieux, Florent Maraux,
Thibaud Martin, Jean-Michel Médoc, Philippe Menozzi,
Anne Mérot, Roger Moussa, Dominique Nicolas,
Frédéric Normand, Jean-Marie Paillat, Florence Paulet,
Sylvain Perret, Daniel Plenet, Delphine Pommeray,
Laurent Prévot, Philippe Prévost, Sylvain Raffleau,
Jacqueline Rakotoarisoa, Bruno Rapidel, Alain Ratnadass, Tantely
Razafimbelo, Jean-Michel Risède, Éric Sabourin,
Hervé Saint Macary, Éric Scopel, Lucien Ségué, Serge Simon,
Thierry Simonneau, Didier Snoeck, François Tardieu,
Pablo Titonell, Florent Tivet, Philippe Tixier, Thierry Tran,
Hoa Tran Quoc, Bernard Triomphe, Olivier Turc,
Jonathan Vayssières, Aude Verwilghen, Marc Voltz,
Tom Wassenaar, Claude Welcker, Jacques Wery

Remerciements pour l'iconographie :
tous les contributeurs au dossier

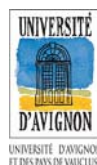
Conception, mise en page et infographie :
Olivier Piau (Agropolis Productions)
agropolisproductions@orange.fr

Impression : Les Petites Affiches (Montpellier)
ISSN : 1628-4240 • Dépot légal : Juillet 2012

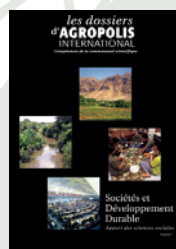


Disponible également
en Anglais

Version du 10/07/2012



Quatorze dossiers parus dans la même collection dont :



Décembre 2008
68 pages
Français et Anglais



Juin 2009
52 pages
Français et Anglais



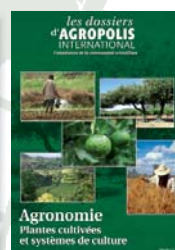
Février 2010
68 pages
Français et Anglais



Février 2010
28 pages
Français et Anglais



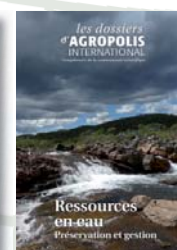
Juin 2010
48 pages
Français et Anglais



Juillet 2010
68 pages
Français et Anglais
(1^{ère} édition)



Octobre 2010
84 pages
Français et Anglais

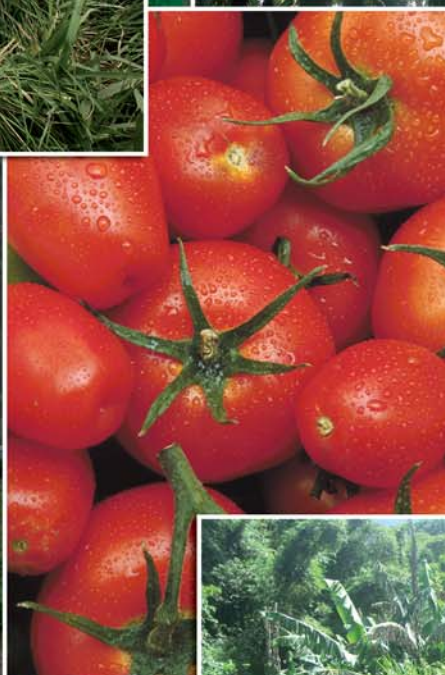


Février 2012
72 pages
Français, Anglais,
Espagnol

— Les dossiers d'Agropolis International —

La série des « dossiers d'Agropolis International » est une des productions d'Agropolis International dans le cadre de sa mission de promotion des compétences de la communauté scientifique. Chacun de ces dossiers est consacré à une grande thématique scientifique. On peut y trouver une présentation synthétique et facile à consulter de tous les laboratoires, équipes et unités de recherche présents dans l'ensemble des établissements d'Agropolis International et travaillant sur la thématique concernée.

L'objectif de cette série est de permettre à nos différents partenaires d'avoir une meilleure lecture et une meilleure connaissance des compétences et du potentiel présents dans notre communauté mais aussi de faciliter les contacts pour le développement d'échanges et de coopérations scientifiques et techniques.



AGROPOLIS
INTERNATIONAL

1000 avenue Agropolis
F-34394 Montpellier CEDEX 5
France

Tél. : +33 (0)4 67 04 75 75
Fax : +33 (0)4 67 04 75 99

agropolis@agropolis.fr
www.agropolis.fr