



A. Verwilghen © Cirad

▲ Récolte des fruits du palmier à huile.

► Oranges Valencia-late, Maroc.

# Assurer une production *alliant quantité et qualité*



**B**ien 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 Maraux,

[florent.maraux@cirad.fr](mailto:florent.maraux@cirad.fr)

[www.cirad.fr/nos-recherches/unites-de-recherche/systemes-de-culture-annuels](http://www.cirad.fr/nos-recherches/unites-de-recherche/systemes-de-culture-annuels)

► Présentation page 10

### UPR SCV

Systèmes de semis direct  
sous couverture végétale

(Cirad)

13 scientifiques

Directeur : Francis Forest,

[francis.forest@cirad.fr](mailto:francis.forest@cirad.fr)

[www.cirad.fr/ur/couvertures-permanents](http://www.cirad.fr/ur/couvertures-permanents)

► Présentation page 12

### UR PSH

Plantes et Systèmes  
de culture Horticoles

(Inra)

28 scientifiques

Directeur : Michel Génard,

[michel.genard@avignon.inra.fr](mailto:michel.genard@avignon.inra.fr)

[www.avignon.inra.fr/psh](http://www.avignon.inra.fr/psh)

► Présentation page 8

### UMR LEPSE

Laboratoire d'Écophysiologie des Plantes  
sous Stress Environnementaux

(Inra, Montpellier SupAgro)

11 scientifiques

Directeur : Thierry Simonneau,

[simonnea@supagro.inra.fr](mailto:simonnea@supagro.inra.fr)

[www1.montpellier.inra.fr/ibip/lepse](http://www1.montpellier.inra.fr/ibip/lepse)

► Présentation page 40

### UMR Innovation

Innovation et développement  
dans l'agriculture et l'agroalimentaire

(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)

51 scientifiques

Directeur : Hubert Devautour,

[hubert.devautour@cirad.fr](mailto:hubert.devautour@cirad.fr)

[www.montpellier.inra.fr/umr-innovation](http://www.montpellier.inra.fr/umr-innovation)

► Présentation page 50

### UMR SYSTEM

Fonctionnement et conduite  
des systèmes de culture tropicaux et  
méditerranéens

(Cirad, Inra, Montpellier SupAgro)

21 scientifiques

Directeur : Jacques Wery,

[wery@supagro.inra.fr](mailto:wery@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](mailto:frederic.normand@cirad.fr)  
& Mathieu Léchaudel, [mathieu.lechaudel@cirad.fr](mailto: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 cacaoier 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 cacaoières 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 cacaoières 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](mailto:eric.gohet@cirad.fr), Didier Snoeck, [didier.snoeck@cirad.fr](mailto:didier.snoeck@cirad.fr) & Sylvain Raffleau, [sylvain.raffleau@cirad.fr](mailto:sylvain.raffleau@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.

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 km<sup>2</sup> 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.

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 équipes

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

30 scientifiques

Directeur : **Éric Malézieux**,  
[malezieux@cirad.fr](mailto:malezieux@cirad.fr)  
[www.cirad.fr/ur/hortsys](http://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](mailto:eric.gohet@cirad.fr)  
[www.cirad.fr/ur/systemes\\_de\\_perennes](http://www.cirad.fr/ur/systemes_de_perennes)

► Présentation page 22

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

18 scientifiques

Directeur : **François Côte**,  
[cote@cirad.fr](mailto:cote@cirad.fr)  
[www.cirad.fr/ur/systemes\\_bananes\\_ananas](http://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...).



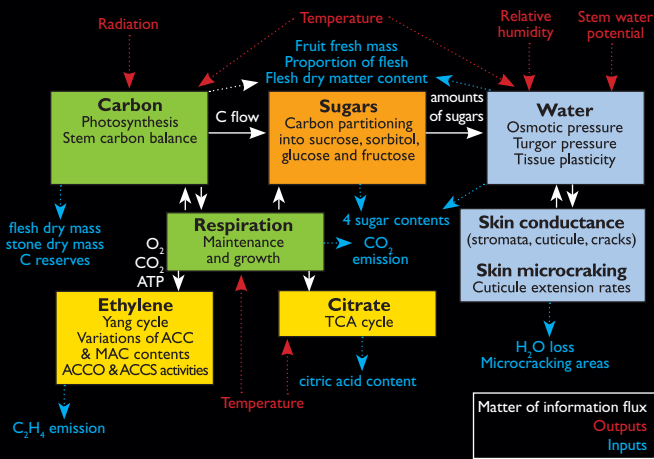
L'organisation spatiale inter- et intraparcélaire ainsi que la spatialisation des moyens de protection sont des éléments-clés pour le contrôle des bioagresseurs. Du fait de sa dispersion modérée, le charançon du bananier est un bon exemple pour étudier l'effet de l'organisation spatiale des SdC sur son 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](mailto:philippe.tixier@cirad.fr)**

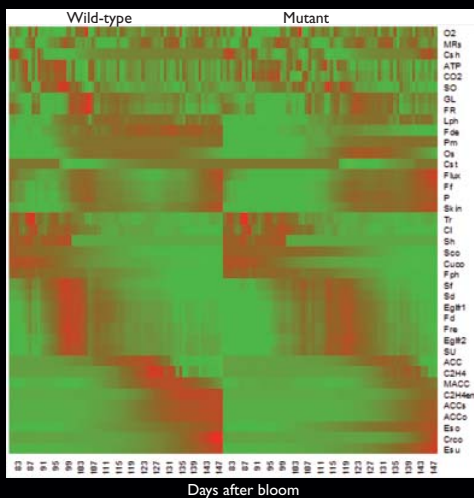
▲ *Association bananier/Neonotonia Wightii (légumineuse).*

# 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](mailto: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 de semis direct sous couverture végétale (SCV, 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. Économiques 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.

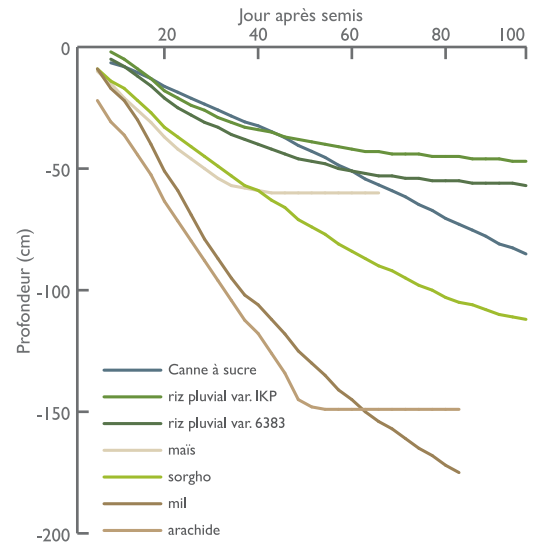
Les déterminants agro-écologiques et socioéconomiques de la durabilité de ces systèmes agroforestiers et l'évolution de leurs performances dans le temps sont mieux connus. Le développement d'outils d'aide à la décision et de prédiction, basés sur le fonctionnement éco-physiologique des espèces en présence, 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](mailto:didier.snoeck@cirad.fr)  
Patrick Jagoret, [patrick.jagoret@cirad.fr](mailto:patrick.jagoret@cirad.fr)  
Nathalie Lamanda, [nathalie.lamanda@cirad.fr](mailto:nathalie.lamanda@cirad.fr)  
& Dominique Nicolas, [dominique.nicolas@cirad.fr](mailto: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](mailto: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'éclairage 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](mailto: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. Thivet © 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 SCV, 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](mailto:andre.chabanne@cirad.fr)**

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

## Produire beaucoup plus avec l'agroforesterie en zone tempérée



© C. Dupraz

### ▲ 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](mailto:dupraz@supagro.inra.fr)**

**Pour en savoir plus :** [www.agroforesterie.fr](http://www.agroforesterie.fr) & [http://umr-system.cirad.fr/programmes\\_finalises/systemes\\_sylvo\\_arables](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.



P.Y. Le Gal © Cirad

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](mailto:sandrine.auzoux@cirad.fr)  
Caroline Lejars, [caroline.lejars@cirad.fr](mailto:caroline.lejars@cirad.fr)  
& Pierre-Yves Le Gal, [pierre-yves.le\\_gal@cirad.fr](mailto: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 Goh © Clind

© T. Chapuset

▲ Récolte du latex  
en plantation d'hévéa (Indonésie).