



© 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 géotypes 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

www.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 Risque environnemental
lié au recyclage**
(Cirad)

13 scientifiques

Directeur : Hervé Saint Macary,

herve.saint_macary@cirad.fr

www.cirad.fr/ur/recyclage_risque

► Présentation page 24

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

<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

www.cirad.fr/nos-recherches/unites-de-recherche/systemes-de-culture-annuelles

► 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

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.

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

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. ...



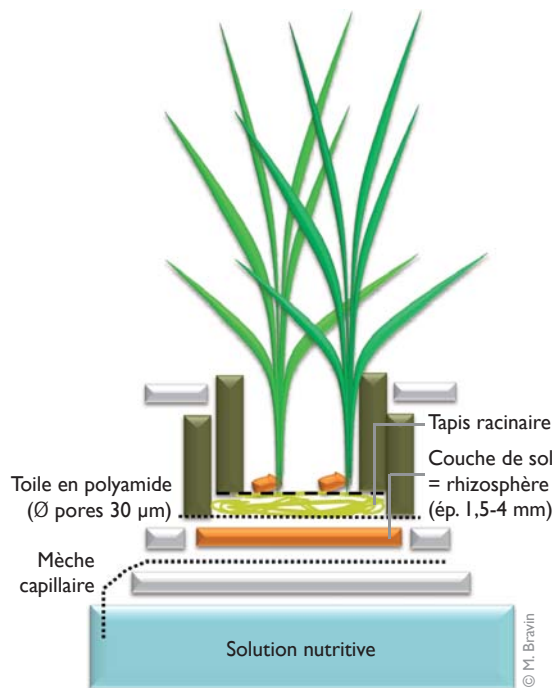
La rhizosphère : une échelle pertinente pour évaluer la phytodisponibilité des éléments traces ?

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 SCV
Systèmes de semis direct
sous couverture végétale
(Cirad)

13 scientifiques

Directeur : **Francis Forest,**
francis.forest@cirad.fr

www.cirad.fr/ur/couverts_permanents

► Présentation page 12

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

18 scientifiques

Directeur : **François Côte,**
cote@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

www.avignon.inra.fr/psh

► 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.

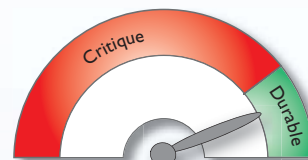
L'unité souhaite poursuivre ses activités dans les années à venir, en focalisant son projet sur deux principaux axes de recherche :

- 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

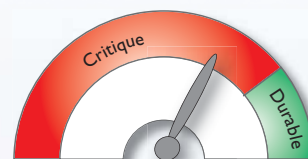
Comprendre et mesurer les impacts environnementaux d'une production agricole est indispensable à l'optimisation des systèmes vers une production durable. Cet enjeu se révèle crucial dans le cas du palmier à huile. En effet, la demande mondiale croissante d'huile de palme accentue rapidement la pression 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



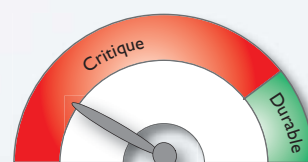
Mineral soil - Iphy-palm

Recommandation :
Practice already globally sustainable



Peat soil - Iphy-palm

Recommandation :
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 (γ 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 *Risque environnemental lié au recyclage* (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.

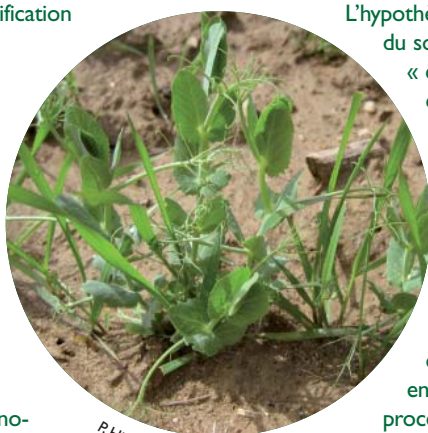
- « Biomax », réalisé en partenariat avec l'Université de La Réunion, permet de simuler les transferts d'effluents entre exploitations excédentaires et déficitaires dans des territoires. Il a été paramétré sur le territoire du Petit-Grand Tampon à la Réunion.
- « Approzut » a été utilisé pour étudier 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-Auzerville



▲ 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 ferrallitiques, 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



Y. Nouvellon © UJVR Eco&Sols