

3<sup>ème</sup> congrès du riz en Afrique. 21-24 octobre 2013. Yaoundé, Cameroun.

Thème 2 : Intensification et diversification durables des systèmes à base riz

## **Agriculture de conservation et durabilité des systèmes de culture à base de riz pluvial : leçons des expériences asiatiques et malgaches**

Husson, O.\*<sup>(1)</sup>; Chabanne, A.<sup>(1)</sup>; Michellon, R.<sup>(1)</sup>; Tivet, F.<sup>(1)</sup>; Boulakia, S.<sup>(1)</sup>; Bouzinac, S.<sup>(1)</sup>; Chabierski, S.<sup>(1)</sup>; Lienhard, P.<sup>(1)</sup>; Enjalric, F.<sup>(1)</sup>; Quoc, H.T.<sup>(2)</sup>; Naudin, K.<sup>(3)</sup>; Scopel, E.<sup>(3)</sup>; Dusserre, J.<sup>(3)</sup>; Sester, M.<sup>(3)</sup>; Taillebois, J.<sup>(4)</sup>; Penot, E.<sup>(5)</sup>; Rakotondramanana<sup>(6)</sup>; Moussa, N.<sup>(7)</sup>; Séguy, L.<sup>(8)</sup>

<sup>(1)</sup> CIRAD-PERSYST-SIA ; <sup>(2)</sup> CIRAD-PERSYST-Systèmes Banane et Ananas; <sup>(3)</sup> CIRAD-PERSYST -SCA ; <sup>(4)</sup> CIRAD-BIOS-AGAP; <sup>(5)</sup> CIRAD-ES-Innovation ; <sup>(6)</sup> Groupement Semis Direct de Madagascar ; <sup>(7)</sup> TAFI, Madagascar ; <sup>(8)</sup> Agroecoriz, France

Personne ressource : Dr. Olivier Husson. CIRAD-PERSYST- UR SIA TAB 01/02 Avenue Agropolis 34398 Montpellier Cedex 5 France. Tel : +33 4 67 61 56 41 Fax : +33 4 67 61 75 13.  
Olivier.husson@cirad.fr

### **Introduction**

La dégradation de l'environnement, l'évolution de la demande des produits alimentaires et non alimentaires, la globalisation des marchés et les fluctuations rapides des prix des produits agricoles conduisent à une modification rapide des systèmes de production et nécessitent des changements profonds des pratiques (Meynard et al., 2012). Les systèmes de culture doivent évoluer pour s'adapter à ces changements et faire face aux tensions qui en découlent : tensions entre rentabilité économique et préservation de l'environnement, entre intérêt individuel des exploitations et gouvernance territoriale, et entre filières (Meynard et al., 2012).

L'agriculture de conservation (AC), en rupture avec les systèmes conventionnels, ouvre de nouvelles perspectives pour des systèmes de culture combinant durabilité et profitabilité. Elle se décline autour de trois principes fondamentaux : (i) un travail du sol minimal, si possible nul ; (ii) une couverture permanente du sol et (iii) des rotations/associations de cultures (Kassam et al., 2009). Mais les performances de l'AC sont variables et les systèmes doivent être adaptés localement, en fonction des conditions agro-climatiques et socio-économiques (Erenstein, 2003; Lestrelin et al., 2012). L'adaptation de ces systèmes à des milieux très divers demande de revoir leur mode de conception et l'accompagnement de leur diffusion. Ceci est particulièrement vrai pour les systèmes à base de riz pluvial, qui représentent 40 % des surfaces cultivées en riz en Afrique (Bernier et al., 2008) et sont à la fois mis en œuvre dans une très grande diversité de situations, très sensibles à la dégradation des sols et exposés à de fortes fluctuations des marchés.

Cet article présente une approche originale de conception de systèmes (DATE : Diagnosis, Design, Assessment, Training & Extension) déclinée dans des situations contrastées et fait une synthèse de l'expérience acquise par le CIRAD et ses partenaires en matière de systèmes de culture à base de riz pluvial, en agriculture de conservation.

## **Matériels et méthodes**

### ***Un réseau pour la conception de systèmes de culture innovants***

Le CIRAD et ses partenaires ont développé depuis les années 90' un réseau de conception de système de culture construit pour représenter une grande diversité de milieux, bio-physiques (climats, sols) et socio-économiques (types d'exploitation, moyens disponibles, accès aux intrants, structuration des marchés, droits d'accès à la terre, etc.). Initié au Brésil, ce réseau s'est par la suite développé à Madagascar et en Asie du Sud-Est, permettant une analyse comparée des systèmes, dans des milieux très contrastés (figure 1) et couvrant des enjeux agronomiques majeurs : systèmes pluviaux et riziculture à mauvaise maîtrise de l'eau, agriculture de montagne sur forte pente, restauration de sols dégradés ou acides, alternatives à l'abattis-brûlis, systèmes à bas niveau d'intrants, etc.

### ***L'approche DATE (Diagnosis, Design, Assessment, Training and Extension)***

L'approche de recherche employée pour la conception de systèmes de culture adaptés localement et appropriable par les agriculteurs est itérative, holistique, participative et multi-échelle (Boulakia et al., 2012; Séguy et al., 2006). Elle permet d'intégrer connaissances scientifiques, connaissances empiriques et savoir-faire technique. Elle combine innovation « de novo » (prototypage sur la base d'un savoir-faire expert) et conception « pas-à-pas », favorisant l'adaptation et les processus d'apprentissage (Meynard et al., 2012).

L'approche DATE (Diagnosis, Design, Assessment, Training and Extension) est construite sur 4 composantes principales qui fonctionnent en boucles de réajustements progressifs, à différentes échelles (figure 2) :

- Un diagnostic réalisé à partir de l'analyse des principales contraintes, des opportunités, des pratiques et des savoirs locaux, il permet de définir un cahier des charges et fixe les objectifs à atteindre. Une gamme de systèmes innovants est alors pré-conçue
- L'échelle parcellaire est abordée à partir d'un dispositif matriciel qui constitue la base de la conception « De novo ». Il s'agit de concevoir des SCV reposant sur des agencements spatiaux et temporels des plantes. Ils intègrent parmi les principales productions vivrières ou de rente, des mélanges et/ou des successions d'espèces de services. L'offre technique propose des systèmes « sur mesure » à la diversité des situations rencontrées. Les matrices sont accompagnées d'essais thématiques. Ils permettent, d'une part, les premiers ajustements techniques (début de la conception « pas-à-pas ») et, d'autre part, l'acquisition de connaissances nécessaires à la compréhension des processus en vue d'apporter une aide à la conception et au pilotage des systèmes.

- L'échelle des exploitations agricoles permet de tester les systèmes les plus performants et/ou les plus prometteurs à travers un réseau d'agriculteurs pilotes. La conception « pas-à-pas » se poursuit par l'amélioration progressive des systèmes de culture proposés en termes d'ajustement aux capacités et aux contraintes des exploitations agricoles.
- L'échelle des groupements d'agriculteurs, des villages ou des terroirs constitue le lieu privilégié de pré-diffusion des systèmes innovants, de structuration de l'espace et de l'organisation sociale. Ce niveau permet, d'une part, d'affiner l'identification des facteurs favorables ou non à l'appropriation des systèmes proposés et, d'autre part, de prendre en compte les contraintes collectives en matière de gestion des espaces et des ressources naturelles partagées. Les processus de validation, de reconception, d'apprentissage et d'accompagnement qui découlent de ce niveau constituent la phase ultime de l'ingénierie appliquée au développement.

## Résultats

### ***Un modèle conceptuel de fonctionnement des systèmes sols/plantes/microorganismes***

L'approche DATE, déclinée dans des environnements contrastés, permet de tester dans le temps une large gamme de systèmes de culture innovants et de les comparer aux systèmes conventionnels. L'analyse comparative des systèmes les plus adaptés au sein de ce réseau a permis de développer un modèle conceptuel de fonctionnement des systèmes sol/plantes/microorganismes et de définir des règles simples pour la conception, l'adaptation locale et le pilotage de systèmes de culture, s'inspirant du fonctionnement des écosystèmes forestiers naturels (Husson et al., 2013; Séguy et al., 2006).

Dans un écosystème naturel comme la forêt, le sol n'est jamais perturbé et il est protégé en permanence par un couvert végétal très diversifié, qui crée des conditions favorables pour une forte activité biologique (humidité, aération, température, substrat nutritif, etc.). Plantes et organismes du sol très divers vivent en interactions, assurent une forte production de biomasse et remplissent diverses fonctions écosystémiques :

- production de matière organique par photosynthèse, à partir de l'eau et du gaz carbonique ;
- protection du sol et réduction du ruissellement par le couvert végétal permanent ;
- recyclage des éléments nutritifs et de l'eau par les racines profondes ;
- fixation d'azote atmosphérique par les bactéries associées aux plantes ;
- minéralisation et solubilisation des éléments nutritifs par les organismes vivants permettant une alimentation régulière des plantes ;
- enrichissement du sol en matière organique stable et séquestration de carbone ;
- aération du sol par les systèmes racinaires puissants ;
- régulation de la température du sol ; et
- l'ensemble des processus de la pédogenèse :

- altération de la roche mère en argiles par les systèmes racinaires puissants et leur exsudats racinaires, les champignons, les micro-organismes du sol, etc.
- fractionnement progressif par la faune des débris végétaux de grosse taille, ce qui les rend accessibles à la microflore
- humification sous l'action des bactéries
- bioturbation par la faune du sol
- agrégation et stabilisation des agrégats par la faune, les champignons, les colonies de bactéries, les exsudats racinaires, etc.

Ces diverses fonctions, remplies par les plantes et les organismes vivants du sol, permettent d'assurer une pédogenèse active, et de maintenir un sol qui se renouvelle régulièrement. Le turn-over important de la matière organique et des éléments nutritifs, et l'absence de pertes par lessivage, permettent d'entretenir de manière durable une forte production, même sur des sols à fertilité réduite. Cette production de biomasse permet quant à elle d'entretenir la pédogenèse. L'écosystème est stable et résilient. C'est ce fonctionnement du système sol/plantes/microorganismes que l'on cherche à reproduire dans les systèmes de Semis Direct sur Couverture Végétale permanente (SCV).

### ***Les systèmes en Semis direct sur Couverture Végétale permanente (SCV)***

Les systèmes en Semis Direct sur Couverture Végétale permanente (SCV) font partie de la famille de l'Agriculture de Conservation. En reproduisant le fonctionnement d'un écosystème forestier, les systèmes SCV visent à accroître l'efficacité des pratiques d'Agriculture de Conservation par l'introduction de plantes de couverture multifonctionnelles, en association ou succession avec les cultures principales, à chaque fois que l'espace ou le temps le permettent (Husson et al., 2013; Kassam et al., 2009; Séguy et al., 2006). Cela conduit à une meilleure utilisation des ressources (en particulier l'eau), une protection permanente du sol, une forte production de biomasse et ainsi une restitution importante de matières organiques au sol. Cette biomasse est fondamentale dans le fonctionnement des systèmes (Scopel et al., 2013). Elle alimente la litière et favorise le développement de l'activité biologique, ce qui permet de mobiliser les processus écologiques, en particulier dans les sols, pour atteindre une production durable et remplir des services écosystémiques suivant les principes de l'intensification écologique (Dore, 2011 #13; Séguy et al., 2006).

Pour assurer la production, quatre grandes fonctions agronomiques doivent être assurées : (i) la structuration du sol ; (ii) l'alimentation régulière des plantes en eau et en éléments nutritifs ; (iii) le contrôle des adventices ; et (iv) le contrôle des bioagresseurs. En agriculture conventionnelle, ces quatre grandes fonctions sont assurées directement par les itinéraires techniques (travail du sol, apport d'engrais, irrigation, utilisation de pesticides, etc.). Dans les systèmes SCV, ces fonctions sont assurées par des agents qui agissent en interactions multiples (figure 2). Les principes sur lesquels reposent l'agriculture de conservation, et en particulier les SCV, visent à favoriser ces agents : plantes, litière, matières organiques du sol, micro-organismes, ingénieurs écologiques, etc.

Ainsi, la structuration du sol est assurée conjointement par les racines puissantes des plantes de couverture et des cultures, la matière organique du sol, et l'activité biologique intense. Le sol est de plus protégé en surface par la litière et les plantes (couverture végétale permanente). L'alimentation des plantes en eau est assurée par une bonne porosité du sol qui permet infiltration et stockage de l'eau, et par un enracinement profond des cultures. La nutrition des plantes est assurée par une minéralisation régulière, l'utilisation de «pompes biologiques» qui mobilisent et recyclent les éléments nutritifs non accessibles aux cultures, et un bon enracinement des cultures dans un sol bien structuré. Le contrôle des adventices est assuré par la couverture végétale permanente du sol, les plantes de couverture (compétition et effets allélopathiques) et l'activité biologique (destruction des graines d'adventices). Enfin, le contrôle des bioagresseurs est assuré par une bonne alimentation des plantes, des conditions de milieu qui sont peu favorables aux pathogènes (pH et potentiel redox), les plantes de services incluses dans la rotation et la mobilisation d'entomopathogènes conformément aux principes de la gestion intégrée des ravageurs. En retour, ces conditions favorables aux micro-organismes et à la faune utiles et au développement des plantes permettent une bonne production de biomasse, qui alimente les cycles de la matière organique.

Les systèmes SCV cherchent ainsi à lever les contraintes principales du milieu en mobilisant des agents, et en premier lieu des plantes, qui modifient le milieu (porosité, température, humidité, pH, potentiel redox, Capacité d'Echange Cationique, etc.) et remplissent conjointement des fonctions agronomiques.

Pour les systèmes SCV, le troisième principe de l'Agriculture de Conservation (associations et successions de cultures) est considéré comme le plus important, celui qui permet de réellement mobiliser ces agents. La forte production de biomasse multifonctionnelle alimente la litière, qui alimente les matières organiques du sol, qui nourrissent à leur tour les organismes vivants dans un turn-over rapide. Tous ces agents assurent les différentes fonctions en interactions. Les deux premiers principes de l'AC favorisent simplement le maintien des conditions favorables à ces agents, créées par le flux continu de matière organique engendré par la forte production de biomasse.

Dans ce modèle, la quantité de biomasse retournée au sol détermine largement l'intensité avec laquelle les services sont rendus, alors que la qualité de la biomasse (espèces végétales produites) détermine largement le type de service rendu (Husson et al., 2013; Scopel et al., 2013; Séguy et al., 2006). Les sols peuvent être restaurés par des systèmes produisant un apport continu de biomasse-carbone dans les sols, supérieur aux pertes.

La construction des systèmes SCV repose donc avant tout sur le choix des espèces intégrées dans les systèmes de culture. Les associations et successions de cultures et de plantes de couverture visent à : (i) optimiser la production de biomasse sans nuire au rendement de la culture principale et (ii) inclure dans les systèmes de culture des espèces sélectionnées pour leur traits fonctionnels, capables de remplir le plus efficacement possible les fonctions agronomiques les plus contraintes dans une situation donnée.

## **Des systèmes de riziculture basés sur le semis direct sur couverture végétale permanente**

La large gamme de systèmes SCV à base de riz pluvial et la diversité des situations des situations dans lesquelles ils ont été testés dans des matrices de systèmes de cultures, associées aux essais thématiques, permettent de tirer des enseignements pour la culture du riz pluvial et montrent l'intérêt des SCV pour cette culture :

### **Le riz pluvial en SCV**

Le riz pluvial est une culture tolérante à l'acidité et à la toxicité aluminique (Famoso et al., 2010), fréquemment rencontrés sur les sols tropicaux. En revanche, c'est une plante qui est exigeante sur le plan de la fertilité et est sensible à la compaction, en particulier dans les climats à risque de déficit hydrique (Bouzinac et al., 2009; Cairns et al., 2011).

La conception de systèmes SCV pour le riz pluvial doit donc intégrer en premier lieu des plantes de services permettant de mobiliser rapidement la fertilité et de restructurer le sol.

La modification des propriétés physiques du sol et le maintien des résidus au sol dans les systèmes SCV permettent de réduire considérablement le ruissellement et l'érosion, et d'augmenter significativement l'infiltration de l'eau (Douzet et al., 2010). Des plantes du genre *Brachiaria* (*B. ruziziensis*, *B. brizantha*, *B. humidicola*), *Eleusine coracana* et dans une moindre mesure *Stylosanthes guianensis* permettent de restaurer rapidement la porosité (Séguy et al., 2006). Le contrôle des brachiaria exige cependant l'usage d'herbicide, au contraire de l'eleusine ou du stylosanthes qui doivent être privilégiés si l'accès aux herbicides n'est pas possible (non disponibles ou très coûteux) (Husson et al., 2013).

Pour restaurer la fertilité du sol, on peut faire appel à des légumineuses comme *Stylosanthes guianensis*, *Crotalaria spp.*, *Cajanus cajan* ou *Vigna unguiculata* (le niébé) ou à *Eleusine coracana* qui bien que n'étant pas une légumineuse mobilise des bactéries fixatrices d'azote au niveau de la rhizosphère (Husson et al., 2013; Séguy et al., 2006).

Le stylosanthes qui associe mobilisation rapide de la fertilité et bonne capacité à restructurer les sols est un excellent précédent pour le riz pluvial, très facile à gérer dans les systèmes, même sans intrants. Ainsi, dans le Moyen-Ouest malgache, les systèmes SCV à base de riz pluvial intégrant le stylosanthes représentaient plus de 85% des 1117 ha en SCV après 4 ans d'intervention (Rakotondramanana et al., 2010).

### **Riz pluvial, striga et SCV**

Une des raisons de l'intérêt marqué pour les systèmes SCV dans le Moyen-Ouest malgache est la capacité de certains systèmes à réduire fortement, voire de supprimer, la pression de *Striga asiatica*. Ce parasite des céréales est très présent dans la région, causant des pertes importantes, en particulier sur le riz. Dans les cas extrêmes, les paysans sont conduits à abandonner leurs parcelles. Les observations sur les matrices de conception de systèmes de cultures ont fait apparaître la faculté de certains systèmes à contrôler cette véritable peste végétale. Ainsi, les systèmes sur couverture vive d'arachide pérenne (*Arachis pintoï* et

*Arachis repens*), ceux à base de *Stylosanthes guianensis* et dans une moindre mesure ceux associant (i) maïs, *Brachiaria ruziziensis* et *Cajanus cajan* ; (ii) maïs, niébé et mucuna et (iii) maïs et *Vigna umbellata*, en rotation avec le riz pluvial permettent de réduire très significativement le développement du striga et réduisent très fortement le stock de graines du parasite dans le sol (Michellon et al., 2011; Randrianjafizanaka et al., 2013). En ajoutant à ces systèmes de culture SCV le choix de variétés de riz résistantes au striga comme Nerica 9 ou Nerica 4, la pression du striga est très fortement réduite, et cet effet se reconduit sur la saison de culture suivante. L'utilisation de Nerica 4 dans des systèmes SCV à base de *Stylosanthes guianensis* permet ainsi de supprimer totalement le développement du parasite (Randrianjafizanaka et al., 2013).

### **Riz pluvial, pyriculariose et SCV**

Un autre atout des systèmes SCV est leur capacité à réduire les attaques de champignons pathogènes comme la pyriculariose du riz (*Magnaporthe oryzae*). Sur l'ensemble du réseau expérimental, le riz pluvial cultivé sur couverture de *Stylosanthes guianensis* est remarquablement sain on retrouve de telles observation dans le Moyen-Ouest malgache où la pyriculariose diminue d'année en année dans les parcelles paysannes, pour disparaître dans les parcelles de troisième année de SCV à base de stylosanthes (Rakotondramanana et al., 2010).

Sur les hautes terres malgaches, la sévérité de la maladie est significativement réduite sur les riz conduits en SCV (après Haricot et Avoine) par rapport au système conventionnel. Sous forte pression de pyriculariose, les rendements en SCV sont supérieurs à ceux en système conventionnel (Sester et al., 2013). D'autres systèmes prometteurs sont à l'étude comme ceux intégrant *Eleusine coracana* et *Crotalaria sp* ou *Cajanus cajan*.

### **Des outils de choix, d'ajustement et de pilotage des systèmes, à différentes échelles**

Sur la base des connaissances des processus en jeu et du savoir-faire développé en matière de conception de systèmes SCV, différents outils ont été développés pour aider au choix des systèmes SCV, à leur ajustement et à leur pilotage dans le temps, en particulier durant la phase de transition entre systèmes conventionnels et systèmes SCV, qui est une phase de changement critique. Les principes de gestion des associations et successions de plantes dans les systèmes de culture ont été définis, visant à assurer la production de la culture principale tout en maximisant la production de biomasse par des plantes de service intégrées dans les systèmes (Husson et al., 2013; Séguy and Bouzinac, 2008). Les milieux biophysiques ont été caractérisés de manière simple en unités agronomiques qui permettent de proposer des gammes communes de systèmes SCV (Husson et al., 2013). Ces principes et ces unités agronomiques ont été intégrés dans des outils informatiques d'aide à la décision comme PRACT : Prototyping Rotation and Association with Cover crop and no till (Naudin, 2012; Naudin et al., 2011). La constitution de bases de données mutualisées (MANAMORA), le suivi de fermes de références et la simulation des performances des exploitations sous divers systèmes SCV (OLYMPE) constituent des outils de suivi et d'aide à la décision au niveau des exploitations et des projets de développement rural (Penot et al., 2011).

## **Conditions d'adoption et accompagnement de la diffusion**

Les études comparatives de la diffusion des systèmes SCV et des causes d'abandon dans des situations contrastées permettent de définir les conditions d'adoption et les besoins en accompagnement pour la diffusion de ces systèmes : Dans les grandes agricultures mécanisées intégrées aux marchés mondiaux, le riz pluvial est difficilement compétitif par rapport à la riziculture irriguée, même si la différence de rentabilité est réduite avec les systèmes SCV. Dans les agricultures de transition s'ouvrant aux marchés comme en Asie du Sud-Est, la mécanisation est un aspect critique pouvant limiter la diffusion de ces systèmes. La rentabilité des systèmes rizicoles est largement améliorée par les systèmes SCV, mais leur compétitivité reste avant tout dépendante des prix relatifs des produits. Les filières de production bien organisées et des prix attractifs de culture comme le maïs ou le manioc au Cambodge font que ces cultures sont bien plus rentables que le riz à court terme. Mais cette recherche du profit à court terme se fait bien souvent au dépend de l'environnement et de la durabilité. L'agriculture de conservation dans ces conditions passe par une prise de conscience et un engagement politique.

En petite agriculture familiale, avec pour objectif d'assurer l'autosuffisance des exploitations en riz, avec un minimum d'intrants, les systèmes SCV sont particulièrement intéressants. Mais ils nécessitent d'amorcer la production initiale de biomasse sur laquelle reposent le fonctionnement biologique des sols et les SCV. Il s'agit là d'un point d'autant plus critique que le niveau de dégradation du sol est important et que les moyens disponibles sont limités. L'écobuage qui permet de relancer la fertilité à moindre coût mais nécessite un investissement important en travail (Michellon et al., 2008) ou la concentration de la biomasse sur une partie de la parcelle peuvent permettre d'amorcer à moindre frais les systèmes SCV. Encore faut-il que cette biomasse reste disponible et retourne au sol. La gestion des compromis entre utilisation de la biomasse produite comme fourrage pour les animaux et restitution pour le bon fonctionnement du sol est un point clef dans les zones où l'élevage procure des revenus importants (Naudin, 2012). Quand la veine pâture est pratiquée après les récoltes des cultures principales, installer et maintenir des plantes de service nécessite une prise de conscience et une réorganisation sociale, souvent longue à mettre en œuvre.

Dans tous les cas, les systèmes SCV sont des systèmes intensifs en connaissances qui nécessitent un effort soutenu de formation et l'accompagnement des agriculteurs durant la phase de transition entre systèmes conventionnels et systèmes SCV. Durant cette phase, les agriculteurs doivent apprendre à maîtriser des systèmes en rupture avec leurs habitudes, alors que les processus de transformations du milieu par ces pratiques prennent du temps pour se mettre en place.

Enfin, les systèmes SCV, comme tout système qui vise à accroître la durabilité de la production, représentent un investissement, qui nécessite une certaine garantie de l'accès à la terre. L'insécurité sur le droit d'accès à la propriété, fréquente en Afrique, n'encourage pas à l'investissement dans la fertilité du sol que proposent ces systèmes. La promotion de ces systèmes passe par une amélioration des droits d'accès.



## **Discussion et conclusion**

L'approche DATE déclinée dans différents contextes contribue à la nécessaire intégration entre disciplines au travers d'une compréhension systémique des processus.

Elle permet d'instaurer une dynamique itérative entre matrices de tests de systèmes de cultures, essais thématiques d'ajustement des systèmes, évaluation des performances et études des processus en jeu. Ainsi, les systèmes font émerger des thèmes de recherche. Ils bénéficient en retour des essais thématiques qui permettent leur ajustement. De la même manière, ces matrices offrent des systèmes contrastés, souvent à très forte biomasse, qui constituent des supports très riches pour des évaluations et des études de compréhension des processus en jeu. En retour, ces systèmes et le modèle conceptuel de fonctionnement des systèmes sols/plantes/microorganismes sur lequel ils reposent sont réalimentés par une meilleure compréhension des processus en jeu et des moyens de les mobiliser.

Le modèle conceptuel de fonctionnement des systèmes sols/plantes/microorganismes sur lequel repose la conception de systèmes SCV s'est progressivement enrichi des avancées de différentes disciplines, en particulier de l'amélioration des connaissances des processus en jeu (microbiologie, cycles biogéochimiques, etc.). Il permet en retour l'intégration de ces disciplines dans un schéma global, et alimente les disciplines en hypothèses de fonctionnement de ces systèmes et en moyen de mobiliser les processus. Ce modèle conceptuel associé aux hypothèses de l'importance du potentiel redox dans le fonctionnement des systèmes sols/plantes/microorganismes {Husson, 2013 #48} offre par exemple un nouveau regard sur les interactions Génotype x Environnement x Mode de gestion x Bioagresseurs, au cœur de l'agronomie.

Enfin, l'approche DATE permet d'intégrer connaissances scientifiques, expertise, connaissances empiriques, savoir-faire et maîtrise technique.





Figure 1. : Caractérisation des situations bio-physiques et socio-économiques couvertes par le réseau de conception de systèmes de culture

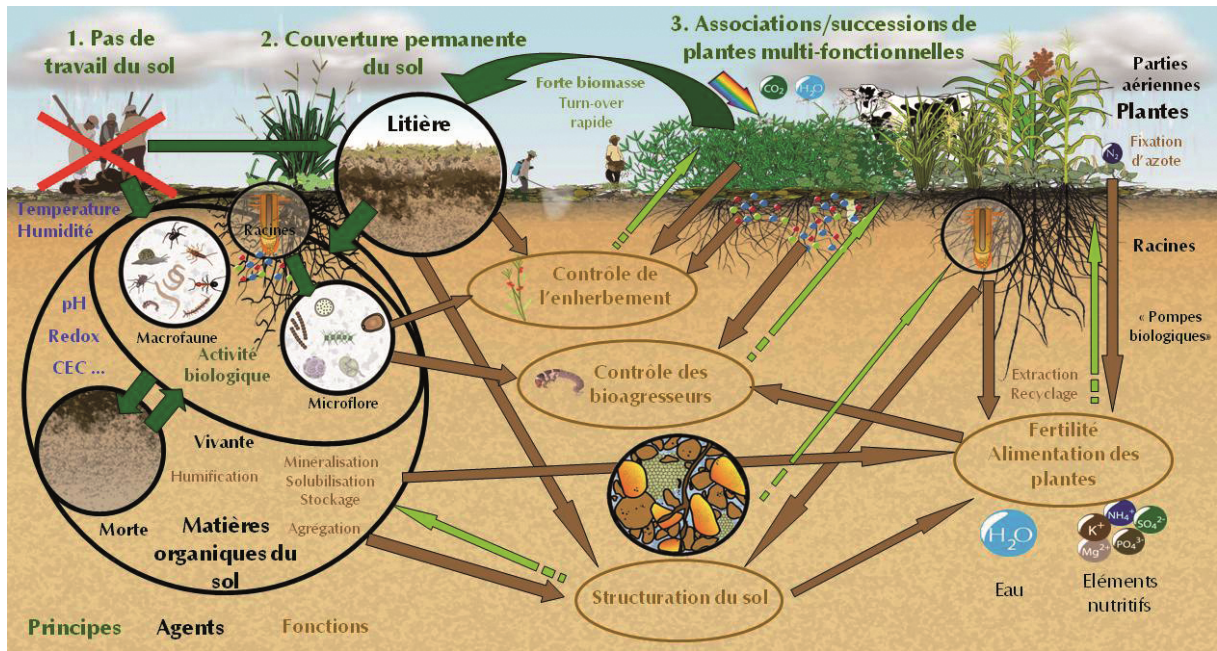


Figure 2 (Husson et al. 2013): Les principes des SCV permettent de développer des agents (plantes, litières, matières organiques du sol, micro-organismes, ingénieurs écologiques, etc.) qui modifient le milieu et assurent les grandes fonctions agronomiques nécessaires à la production.

## Références

- Bernier, J., G.N. Atlin, R. Serraj, A. Kumar, and D. Spaner. (2008) Breeding upland rice for drought resistance. Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88:927-939.
- Boulakia, S., S. Chabierski, P. Kou, S. San, R. Kong, V. Leng, V. Sar, K. Chhit, and L. Séguy. (2012) Adaptation of direct-sowing mulch-based cropping systems for annual cash crop production in Cambodian rainfed uplands, in: D. Hauswirth, et al., (Eds.), 3rd International Conference on Conservation Agriculture in Southeast Asia, CIRAD, Montpellier, France; NOMAFSI, Phu Tho, Viet Nam; University of Queensland, Brisbane, Australia, Hanoi, Vietnam. pp. 92-108.
- Bouzinac, S., L. Séguy, and J. Taillebois. (2009) La saga Sebota – Un dossier des interactions “genotypes × environnement × modes de gestion des sols et des cultures. Document CIRAD-PERSYST, 388 p.  
<http://agroecologie.cirad.fr/content/download/7726/39229/file/LA%20SAGA%20SEBOTA%20CHAPITRE%20I%20ET%20II.pdf>.
- Cairns, J.E., S.M. Impa, J.C. O'Toole, S.V.K. Jagadish, and A.H. Price. (2011) Influence of the soil physical environment on rice (*Oryza sativa* L.) response to drought stress and its implications for drought research. *Field Crops Research* 121:303-310. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.01.012>.
- Douzet, J.-M., E. Scopel, B. Muller, J. Rakotoarisoa, A. Albrecht, and N. Drazafindramanana. (2010) Effets des systèmes de culture en semis direct avec couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des cultures pluviales des Hautes Terres de Madagascar. *Etudes et Gestion des Sols* 17:131-142.
- Erenstein, O. (2003) Smallholder conservation farming in the tropics and sub-tropics: a guide to the development and dissemination of mulching with crop residues and cover crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 100:17-37.
- Famoso, A.N., R.T. Clark, J.E. Shaff, E. Craft, S.R. McCouch, and L.V. Kochian. (2010) Development of a Novel Aluminum Tolerance Phenotyping Platform Used for Comparisons of Cereal Aluminum Tolerance and Investigations into Rice Aluminum Tolerance Mechanisms. *Plant Physiology* 153:1678-1691. DOI: 10.1104/pp.110.156794.
- Husson, O., L. Séguy, H. Charpentier, Rakotondramanana, R. Michellon, T. Raharison, K. Naudin, F. Enjalric, N. Moussa, C. Razanamparany, J. Rasolomanjaka, S. Bouzinac, A. Chabanne, S. Boulakia, F. Tivet, S. Chabierski, H. Razafintsalama, C. Rakotoarinivo, H.M. Andrianasolo, F.-X. Chabaud, A. Rakotondralambo, and I. Ramaroson. (2013) Manuel pratique du Semis direct sur Couverture Végétale permanente (SCV). Application à Madagascar, GSDM/CIRAD, Antananarivo, Madagascar.
- Kassam, A., T. Friedrich, F. Shaxson, and J. Pretty. (2009) The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *International journal of agricultural sustainability* 7:292-320.
- Lestrelin, G., H.T. Quoc, F. Jullien, B. Rattanatray, C. Khamsaykhay, and F. Tivet. (2012) Conservation agriculture in Laos: Diffusion and determinants for adoption of direct seeding mulch-based cropping systems in smallholder agriculture. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27:81-92.
- Meynard, J.M., B. Dedieu, and A.P.B. Bos. (2012) Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices, in: I. Darnhofer, et al., (Eds.), *Farming systems research into the 21st century: the new dynamic*, Springer. pp. 407-432.
- Michellon, R., N. Moussa, C. Razanamparany, Rakamiaramanana, O. Husson, and D. Seguy. (2008) L'écobuage : une pratique à faible coût pour restaurer rapidement la fertilité du sol et augmenter la production. *Terre malgache*:53-55.
- Michellon, R., O. Husson, N. Moussa, M. Randrianjafizanaka, K. Naudin, P. Letourmy, A.P. Andrianaivo, Rakotondramanana, R. Nonat, F. Enjalric, E. Penot, and L. Séguy. (2011) *Striga asiatica* : a driving-force for dissemination of conservation agriculture systems based on *Stylosanthes guianensis* in Madagascar, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming systems design Conference, WCCA/FSD Local Organising Committee, Brisbane Convention & Exhibition Centre
- Brisbane

Australia. pp. 213-214.

Naudin, K. (2012) You can't eat your mulch and have it too. Cropping systems and trade-offs around biomass use for Conservation Agriculture in Cameroon and Madagascar, Wageningen University. pp. 220.

Naudin, K., E. Scopel, O. Husson, S. Auzoux, E. Penot, and K.E. Giller. (2011) Prototyping rotation and association with cover crop and no till, 5th World Congress of Conservation Agriculture incorporating 3rd Farming systems design Conference, WCCA/FSD Local Organising Committee, Brisbane Convention & Exhibition Centre  
Brisbane

Australia. pp. 485-487.

Penot, E., C. Durand, S. Nave, M. Terrier, A. Ahmim-Richard, and A. Bodoy. (2011) Les réseaux de fermes de référence : un outil d'aide à la décision au service des projets de développement à Madagascar, Exploitations agricoles, stratégies paysannes et politiques publiques : les apports du modèle Olympe, Quae, Versailles. pp. 103-115.

Rakotondramanana, O. Husson, and F. Enjalric. (2010) Documentation et synthèse de l'Agriculture de Conservation à Madagascar, FAO, Rome.

Randrianjafizanaka, M.T., R. Michellon, J. Rodenburg, and A.P. Andrianaivo. (2013) The role of resistant rice varieties in a locally adapted integrated Striga management approach, 12th World congress on Parasitic Plants, Sheffield, UK. pp. In press.

Scopel, E., B. Triomphe, F. Affholder, F. Silva, M. Corbeels, J.H. Xavier, R. Lahmar, S. Recous, M. Bernoux, E. Blanchart, I. Mendes, and S. Tourdonnet. (2013) Conservation agriculture cropping systems in temperate and tropical conditions, performances and impacts. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33:113-130. DOI: 10.1007/s13593-012-0106-9.

Séguy, L., and S. Bouzinac. (2008) La symphonie inachevée du semis direct dans le Brésil central : le système dominant dit de "semi-direct": limites et dégâts, eco-solutions et perspectives : la nature au service de l'agriculture durable., CIRAD, Montpellier.

Séguy, L., S. Bouzinac, and O. Husson. (2006) Direct-seeded tropical soil systems with permanent soil cover : Learning from Brazilian experience, in: B. A. S. F. E. C. M. H. H. R. H. O. L. M. V. P. C. P. J. S. P. S. N. T. J. Uphoff Norman T, (Ed.), *Biological approaches to sustainable soil systems*, CRC Press, Boca Raton. pp. p. 323-342.

Sester, M., H. Raveloson, D. Tharreau, and J. Dusserre. (2013) Conservation agriculture cropping system to limit blast disease in upland rainfed rice. *Plant Pathology*. DOI: 10.1111/ppa.12099.