

3^{ème} 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.*⁽¹⁾ ; Chabanne, A.⁽¹⁾ ; Michellon, R.⁽¹⁾ ; Tivet, F.⁽¹⁾ ; Boulakia, S.⁽¹⁾ ; Bouzinac, S.⁽¹⁾ ; Chabierski, S.⁽¹⁾ ; Lienhard, P.⁽¹⁾ ; Enjalric, F.⁽¹⁾ ; Tran Quoc, H.⁽²⁾ ; Naudin, K.⁽³⁾ ; Scopel, E.⁽³⁾ ; Dusserre, J.⁽³⁾ ; Sester, M.⁽³⁾ ; Taillebois, J.⁽⁴⁾ ; Penot, E.⁽⁵⁾ ; Rakotondramanana⁽⁶⁾ ; Moussa, N.⁽⁷⁾ ; Séguy, L.⁽⁸⁾

⁽¹⁾ CIRAD-PERSYST-SIA ; ⁽²⁾ CIRAD-PERSYST-Systèmes Banane et Ananas ; ⁽³⁾ CIRAD-PERSYST -SCA ; ⁽⁴⁾ CIRAD-BIOS-AGAP ; ⁽⁵⁾ CIRAD-ES-Innovation ; ⁽⁶⁾ Groupement Semis Direct de Madagascar ; ⁽⁷⁾ TAFE, Madagascar ; ⁽⁸⁾ 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'augmentation 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).

Dans de nombreux pays comme Madagascar, la riziculture irriguée est limitée par les coûts d'entretien d'infrastructures lourdes et la faible disponibilité de surfaces propices. Développer une riziculture pluviale productive, améliorant les revenus des familles et permettant une plus grande résistance/résilience vis-à-vis des aléas climatiques est une nécessité. Les techniques d'Agriculture de Conservation (AC), en rupture avec les systèmes conventionnels, ouvrent de nouvelles perspectives pour des systèmes de culture combinant durabilité et profitabilité. Elles apparaissent les mieux adaptées pour assurer la production de riz pluvial. Elles permettent en particulier un semis précoce qui limite les risques climatiques et assure une production de riz avant la récolte du riz irrigué, quand les prix sont les plus élevés.

L'agriculture de conservation 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 en AC adaptés localement et appropriables 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 des processus d'innovation « de novo » (prototypage sur la base d'un savoir-faire expert) et de conception « pas-à-pas », favorisant l'adaptation et les processus d'apprentissage (Meynard et al., 2012).

L'approche DATE 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 systèmes en agriculture de conservation reposant sur des agencements spatiaux et temporels de plantes et s'inspirant du fonctionnement des écosystèmes forestiers naturels (Husson et al., 2013;

Séguy et al., 2006). 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 de construire 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 co-conception « pas-à-pas » se poursuit par l'amélioration progressive des systèmes de culture proposés en termes d'ajustements 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 et l'espace) une large gamme de systèmes de culture innovants et de les comparer aux systèmes conventionnels. L'analyse comparative des systèmes de culture les plus adaptés au sein de ce réseau international du CIRAD et de ses partenaires 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 (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.). Les communautés de plantes et organismes du sol vivent en interactions et remplissent de nombreuses fonctions écosystémiques :

- production de biomasse 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 leurs 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 l'abondance et la diversité des plantes et des organismes vivants dans le 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. 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 (Doré *et al.*, 2011; 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 enracinement profond 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 de service, 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. La pratique de rotations et/ou d'associations culturales permet une gestion plus intégrée des adventices et des maladies (Swanton and murphy, 1996). Elle contribue également au maintien de la fertilité des sols puisqu'elle favorise la formation des matières organiques dans les sols (West and Post, 2002 ; Bullock, 1992). La forte production de biomasse multifonctionnelle alimente la litière, qui fournit les matières organiques du sol, qui nourrissent à leur tour les organismes vivants dans un turn-over rapide.

Dans ce modèle, la quantité de biomasse restituée 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 à intégrer 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 attendues 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 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. Associer le riz pluvial à des plantes de service assurant ces fonctions, comme *Arachis pintoï*, est possible mais nécessite une très bonne maîtrise technique et le recours à des herbicides qui ne sont pas toujours accessibles. Les climats à longue saison sèche (ou froide) ne permettent pas l'installation d'une plante de service en contre-saison. Dans ces conditions, les systèmes AC à base de riz pluvial les plus performants alternent une année de riz pluvial avec une ou plusieurs années de cultures à très forte production de biomasse. Le maïs par exemple est facile à associer à des plantes de services. Ces rotations impliquent pour le producteur l'adoption d'une stratégie pluriannuelle. Il s'agit d'une part importante du changement de paradigme que constitue l'adoption d'une agriculture de conservation.

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

Un des raisons de l'intérêt marqué pour les systèmes SCV et un élément clef de leur adoption dans le Moyen-Ouest malgache est la capacité de certains systèmes à réduire fortement, voire de supprimer, la pression de *Striga asiatica*, permettant la réintroduction sans risques des céréales dans les rotations (Michellon *et al.*, 2011 ; Sorèze et Penot, 2011).

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 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 du CIRAD et de ses partenaires, le riz pluvial cultivé sur couverture de *Stylosanthes guianensis* est remarquablement sain. De telles observations ont été effectuées 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*.

L'intégration agronomie des systèmes de culture sur couvert végétal et génétique riz

Les deux exemples précédents soulignent l'importance de l'agronomie systèmes pour une transformation rapide du milieu biophysique (activité biologique, propriétés hydrauliques et structurales des sols, dynamique de la matière organique et des éléments minéraux...) et une amélioration des performances variétales. Le fonctionnement différencié et évolutif ('mises au travail' des fonctions, synergies fonctionnelles) des systèmes sur couvert végétal doit être mis à profit pour développer des outils de sélection basés sur une plus forte intégration entre agronomie des systèmes sur couvert végétal et génétique riz. Vales et al. (2009) décrit cette intégration (Figure 3). Vales (2010) et souligne aussi l'apport de la sélection récurrente à base étroite comme outil de sélection (Vales, 2010), combinant un nombre limité de géniteurs sélectionnés sur des traits spécifiques (résistance aux maladies, qualité des grains ...).

En améliorant les conditions trophiques ou en limitant la pression parasitaire, les SCV permettent une plus large expression du potentiel génétique. En termes de sélection, cela se traduit par une meilleure hiérarchisation des traits ciblés, et permet ainsi de recentrer les critères de sélection en priorité sur le potentiel de production et la qualité des grains. Cette intégration contribue à une meilleure efficacité de l'effort de sélection en criblant du matériel végétal en fonction du degré d'intensification écologique des systèmes de culture (Bouzinac et al., 2009). L'amélioration variétale est ainsi élaborée dans une intensification écologique continue.

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 critique de transition entre systèmes conventionnels et systèmes SCV. 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 de suivi de l'adoption par les agriculteurs dans les diverses unités agronomiques (MAN@MORA), 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'adoptions 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. L'environnement rural, en particulier l'accès aux marchés, est prépondérant :

- 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, l'accès à des services ou du matériel spécifique pour conduire ces itinéraires (en particulier les semoirs et les rouleaux à cornière) est un aspect critique pouvant limiter la diffusion de ces systèmes (Lienhard *et al.* 2013). La rentabilité des systèmes rizicoles est largement améliorée par les systèmes SCV, mais leur compétitivité reste avant tout dépendante des services accompagnant la production agricole et des prix relatifs des produits agricoles. Les filières de production bien organisées et des prix élevés du maïs ou du manioc au Cambodge font que ces cultures sont bien plus attractives et rentables que le riz à court terme. Mais cette recherche du profit à court terme se fait bien souvent au détriment de l'environnement et de la durabilité. La mise en œuvre de 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 pour la régularité de la production et la réduction des risques climatiques en début de culture (effet mulch), et pour la lutte anti érosive dans les zones fortement sensibles comme au Lac Alaotra à Madagascar. 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 (Husson *et al.* 2013). 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; Andriarimalala *et al.*, 2013). 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. Les techniciens des services agricoles ou des projets de développement rural doivent être formés de manière à pouvoir apporter un véritable conseil à l'exploitation et accompagner les agriculteurs durant la phase de transition entre systèmes conventionnels et systèmes SCV, pendant au moins 5 années. Durant cette phase, les agriculteurs doivent apprendre à maîtriser des systèmes en rupture avec leurs habitudes,

alors que les processus de transformation du milieu par ces pratiques prennent du temps pour se mettre en place. Le changement de paradigme tant sur les pratiques que sur les stratégies (passage du court terme au long terme) nécessite un long apprentissage, coûteux en temps de techniciens bien formés. Cela implique une véritable volonté politique de développement de ces pratiques. La très faible diffusion hors projet des techniques de l'agriculture de conservation après 10 années de projet au lac Alaotra montre que la diffusion n'est pas de type tache d'huile et par simple co-optation d'un système de culture SCV (Teyssonier et Penot, 2013).

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 et en particulier par des contrats de métayage et de fermage garanti au moins sur le moyen terme.

Discussion et conclusion

L'approche DATE permet de proposer une gamme de systèmes de culture à base de riz pluvial adaptable à une grande diversité de milieux. Déclinée dans différents contextes, elle contribue à la nécessaire intégration entre disciplines au travers d'une compréhension systémique des processus biophysiques et socioéconomiques mis en jeu.

Cette approche permet d'instaurer une dynamique itérative entre dispositifs et leur échelle respective d'intervention : 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. Ainsi, ce 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, en les alimentant en hypothèses de fonctionnement de ces systèmes. Ce modèle conceptuel associé aux hypothèses de l'importance du potentiel redox dans le fonctionnement des systèmes sols/plantes/microorganismes (Husson, 2013) offre par exemple un nouveau regard sur les interactions Géotype x Environnement x Mode de gestion x Bioagresseurs, au cœur de l'agronomie.

Ainsi, l'approche DATE permet d'intégrer connaissances scientifiques, expertise, connaissances empiriques, savoir-faire et maîtrise technique pour la conception de systèmes

de cultures en AC adaptés aux enjeux d'une production agricole respectueuse des composantes sociale, économique et environnementale d'un développement durable.

L'intégration d'une approche économique à la parcelle et au niveau de l'exploitation par la modélisation et l'analyse prospective permet également de mesurer les effets réels et à terme de l'adoption de l'agriculture de conservation sur les revenus et d'estimer la durabilité et la résilience des exploitations après adoption (Penot et al ; 2012). Ces analyses confirment que l'adoption de l'agriculture de conservation dans le cadre d'une petite agriculture familiale est bien un processus à long terme nécessitant un fort investissement extérieur, en particulier dans la formation, et une réelle volonté politique. Pour cela les décideurs politiques doivent être convaincus que l'agriculture de conservation, qui n'implique pas de technologies de pointe et peut paraître rétrograde au premier abord, est bien une agriculture moderne et performante, basée sur des connaissances avancées qui permettent de mobiliser des processus écologiques très évolués. Ces caractéristiques lui permettent de combiner productivité et durabilité.

Références

- Andriarimalala JH, Rakotozandriny JN, Penot E, Naudin K, Tillard E and Salgado P. 2013. Creating synergies between conservation agriculture and cattle production in crop-livestock farms: a study case in the Lake Alaotra region of Madagascar. *Experimental Agriculture*, 49 : 352-365
- Bernier J, Atlin GN, Serraj R, Kumar A, and D. Spaner. (2008) Breeding upland rice for drought resistance. Review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88:927-939.
- Boulakia S, Chabierski S, Kou P, San S, Kong R, Leng V, Sar V, Chhit K and Séguy L. 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, Séguy L and Taillebois J. 2009. *La saga Sebota – Un dossier des interactions "genotypes × environment × 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>.
- Bullock, D.G. 1992. Crop rotation. *Critical Reviews in Plant Sciences* 11:309-326.
- Cairns JE, Impa SM, O'Toole JC, Jagadish SVK and Price AH. 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>.
- Dore T, Makowski D, Malezieux E, Munier-Jolain N, Tchamitchian M, Tittone P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: Revisiting methods, concepts and knowledge, *European Journal of Agronomy*, 34 (2011) 197-210.
- Douzet, J-M., Scopel E, Muller B, Rakotoarisoa J, Albrecht A and Drazafindramanana N. 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 AN, Clark RT, Shaff JE, Craft E, McCouch SR and Kochian LV. 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, Séguy L, Charpentier H, Rakotondramanana, Michellon R, Raharison T, Naudin K, Enjalric F, Moussa N, Razanamparany C, Rasolomanjaka J, Bouzinac S, Chabanne A, Boulakia S, Tivet F, Chabierski S, Razafintsalama H, Rakotoarinivo J, Andrianasolo HM, Chabaud FX, Rakotondralambo A et Ramaroson I. 2013. *Manuel pratique du Semis direct sur Couverture Végétale permanente (SCV). Application à Madagascar*, GSDM/CIRAD, Antananarivo, Madagascar. ISBN: 978-2-87614-689-1
- Husson, O. 2013. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. *Plant Soil* 362:389–417
- Kassam A, Friedrich T, Shaxson F and Pretty J. 2009. The spread of conservation agriculture: justification, sustainability and uptake. *International journal of agricultural sustainability* 7:292-320.
- Lestrelin, G., Quoc HT, Jullien J, Rattanatravay B, Khamsaykhay C and Tivet F. 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.
- Lienhard P, Boulakia S, Legoupil JC, Gilard O, Séguy L (2013). Chapter 7. Development and prospects of conservation agriculture in South East Asia: A comprehensive review. In Jat (ed) *Conservation Agriculture: Global prospects and challenges*. CABI. ISBN-13: 9781780642598.
- Meynard JM, Dedieu B and Bos APB. 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, Moussa N, Razanamparany C, Rakotondramanana, Husson O and Seguy L. 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, Husson O, Moussa N, Randrianjafizanaka M, Naudin K, Letourmy P, Andrianaivo AP, Rakotondramanana, Nonat R, Enjalric F, Penot E et Séguy L. 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, 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, Scopel E, Husson O, Auzoux S, Penot E and Giller KE. 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 Australia. pp. 485-487.
- Penot E, Durand C, Nave S, Terrier M, Ahmim-Richard A and Bodoy A. 2011. Les réseaux de fermes de référence : un outil d'aide à la décision au service des projets de développement à Madagascar, In : *Exploitations agricoles, stratégies paysannes et politiques publiques : les apports du modèle Olympe*, Quae, Versailles. pp. 103-115.
- Penot E. 2012. Exploitations agricoles, stratégies paysannes et politiques publiques. Les apports du modèle Olympe. Editions Quae, Versailles. Collection «Update Sciences & Technology ». 350 p.
- Rakotondramanana, Husson O and Enjalric F. 2010. Documentation et synthèse de l'Agriculture de Conservation à Madagascar, FAO, Rome.
- Randrianjafizanaka MT, Michellon R, Rodenburg J and Andrianaivo AP. 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, Triomphe B, Affholder F, Silva F, Corbeels M, Xavier JH, Lahmar R, Recous S, Bernoux M, Blanchart E, Mendes I and deTourdonnet S. 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 Bouzinac S. 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, Bouzinac S and Husson O. 2006. Direct-seeded tropical soil systems with permanent soil cover : Learning from Brazilian experience, In: Uphoff Norman T, et al. (Ed.) *Biological approaches to sustainable soil systems*, CRC Press, Boca Raton. pp. 323-342.
- Sester M, Raveloson H, Tharreau D and Dusserre J. 2013. Conservation agriculture cropping system to limit blast disease in upland rainfed rice. *Plant Pathology*. In press. DOI: 10.1111/ppa.12099.
- Sorèze J et Penot E. 2011. Document de travail BV lac n° 42/collection AFD. *Evaluation de l'impact de l'adoption de pratiques d'agriculture de conservation sur les exploitations agricoles dans le Moyen-Ouest du Vakinankaratra, Madagascar*. Projet PAMPA-BVPI/FAFIALA. Antananarivo, Madagascar. CD rom décembre 2012.
- Swanton, C.J., & Murphy, S.D. (1996) Weed science beyond the weeds: the role of integrated weed management (IWM) in agroecosystem health. *Weed science* 437-445.
- Teyssonier A et Penot E. 2013. *Analyse des modes d'appropriation et d'adoption des techniques de l'agriculture de conservation hors projet dans la zone du lac Alaotra, Madagascar*. Document de travail BVlac. 30 pages.
- Valès M, Séguy L and Bouzinac S. 2009. Improvement of cropping system by integration of rice breeding: a novel genetic improvement strategy. *Euphytica* 167:161-164.
- Valès, M. (2010) Some innovations in rice recurrent selection: The back recurrent selection (BCRS), the simplified and efficient rice breeding method (SERB), and the plant-parasite reciprocal recurrent selection (2P2RS). *Crop Protection* 29 (4): 311-317.
- West, T.O., & Post, W.M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation. *Soil Science Society of America Journal*, 66(6): 1930-1946.

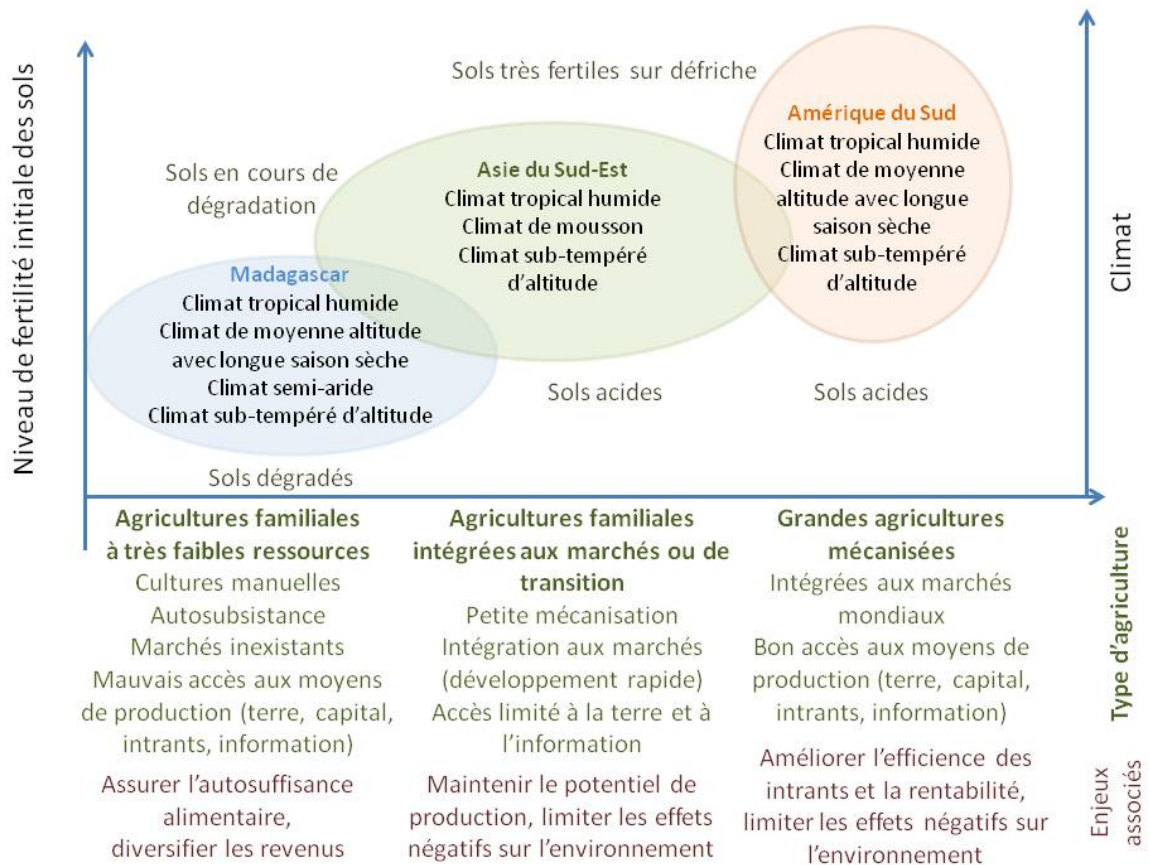


Figure 1. Caractérisation des situations bio-physiques et socio-économiques couvertes par le réseau de conception de systèmes de culture

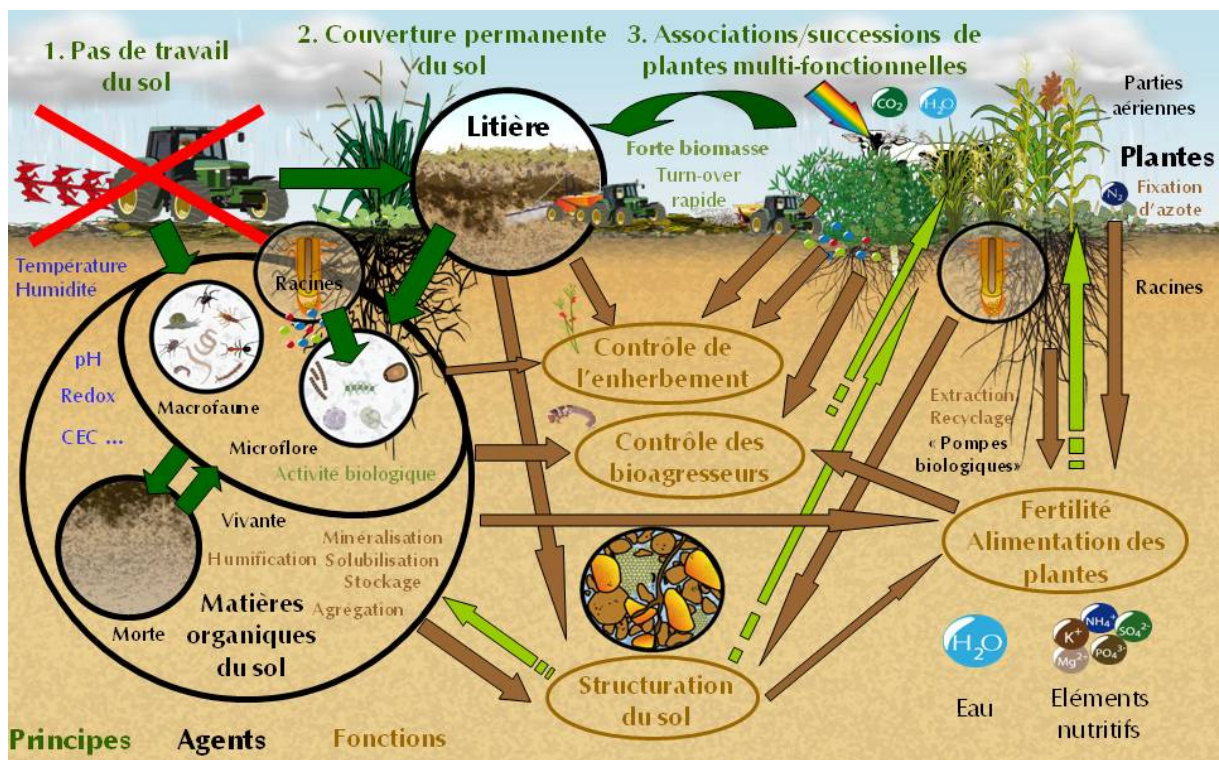


Figure 2 (Husson *et al.* 2013): Les principes des SCV permettent de développer des agents (plantes, litières, matières organiques du sol, micro-organismes, ingénieurs écologiques, etc.) qui modifient le milieu et assurent les grandes fonctions agronomiques nécessaires à la production.

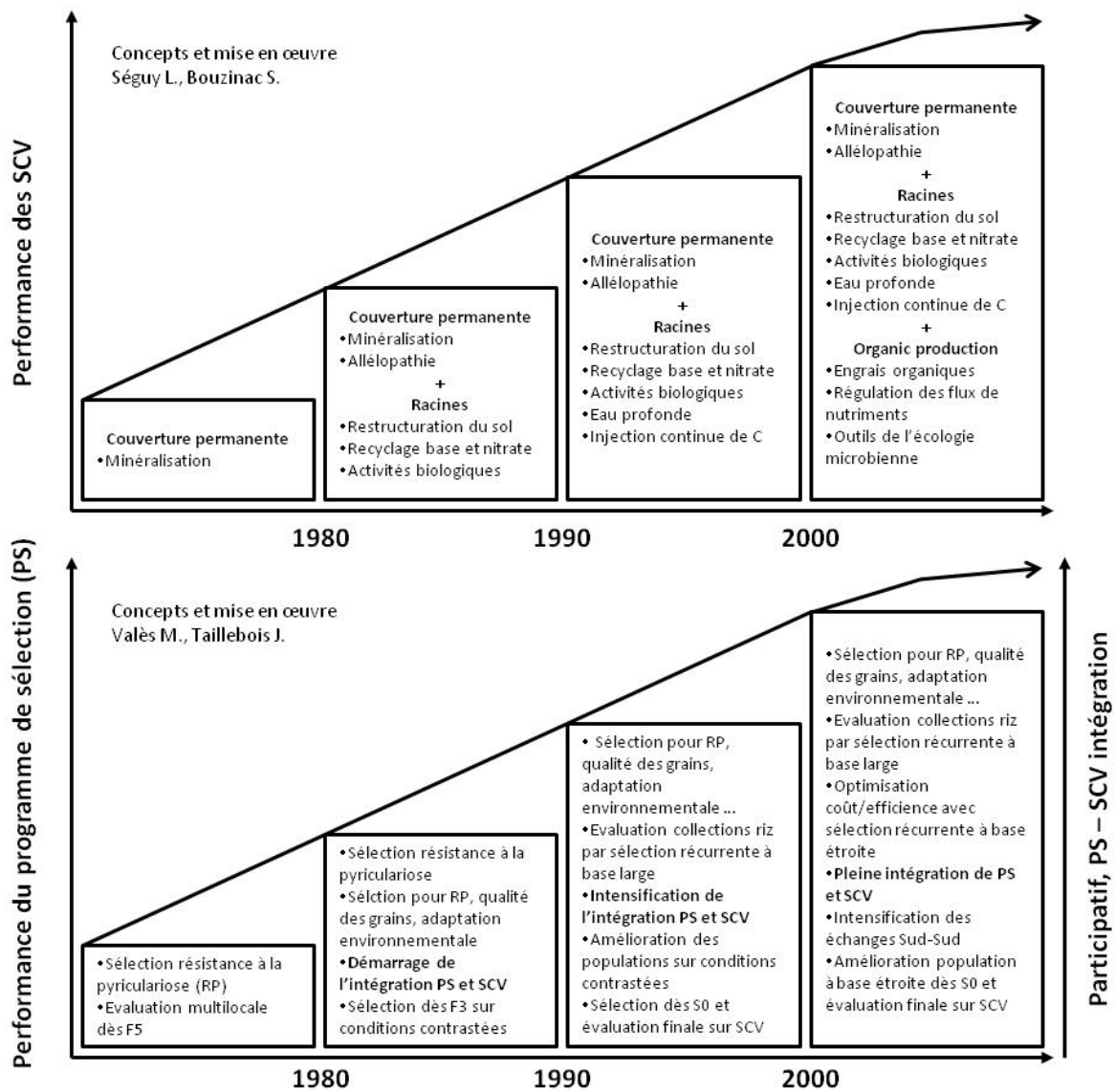


Figure 3 : Intégration des programmes d'amélioration des systèmes sur couvert végétal (SCV) et des programmes d'amélioration génétique du riz (D'après Valès *et al.*, 2009)