



Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

Département
des cultures
annuelles
CIRAD-CA
Réunion

CONCEPTION DE SYSTEMES AGRICOLES DURABLES AVEC COUVERTURE HERBACEE PERMANENTE POUR LES HAUTS DE LA REUNION

97487
Saint-Denis Cédex
téléphone :
(262)52-50-09
télécopie :
(262)52-68-60
télex :
916 033 RE

**MICHELLON Roger
PERRET Sylvain**

Mars 1995



Conception de systèmes agricoles durables avec couverture herbacée permanente pour les Hauts de la Réunion

Michellon Roger¹ ; Perret Sylvain²

¹CIRAD, Station Colmaçons, 97416 La-Chaloupe-Saint-Leu, Réunion

²CIRAD, Station de la Bretagne, 97487 Saint-Denis Cedex, Réunion

Introduction

Sans jachère, la monoculture a conduit à une extrême dégradation du milieu. Grâce aux outils biologiques tels que les couvertures végétales, il est possible de reconstruire des systèmes stabilisés et diversifiés.

Un équilibre rompu dans une région vouée depuis un siècle à la culture du géranium rosat

Dans les Hauts sous le vent, la culture itinérante traditionnelle s'est sédentarisée. Faute de terre suffisante, les planteurs doivent renoncer à la jachère arborée : la fertilité du sol n'est plus restaurée, les adventices et les maladies prolifèrent, les rendements s'effondrent.

Les conséquences néfastes de la monoculture (exode rural, etc.) ont conduit à la mise en œuvre du Plan d'aménagement des Hauts (1983) et d'une démarche de recherche appliquée, avec la participation des agriculteurs et autres acteurs du développement (Michellon, Bridier, 1988). Aux objectifs de mise en valeur agricole de la zone (diversification, réduction des coûts...) s'ajoute la protection de l'environnement, notamment la conservation des sols, aujourd'hui prise en compte par les agriculteurs.

Les sols d'origine volcanique appartiennent tous à une série homogène qui se différencie selon l'altitude (Raunet, 1991). Les expérimentations sont conduites vers 1 000 m d'altitude sur andosol non perhydraté recevant annuellement 1 400 mm de pluie, avec une période sèche de mai à octobre, et une température moyenne de 17 °C.

L'évaluation agrotechnique et économique rigoureuse des propositions par rapport aux techniques traditionnelles est réalisée sur des dispositifs d'étude pérennisés, en milieu paysan, sur un intervalle de temps de l'ordre d'une décennie. Les différents systèmes de culture étudiés sont conduits sur des parcelles d'une superficie de 10 à 30 ares, représentatives du parcellaire sur forte pente.

Grâce à une démarche commune avec les partenaires de la formation et du développement, les solutions proposées se généralisent ; mais, développées en sol nu, elles maintiennent une érosion intense accentuée par la pente (moyenne : 15 %), accroissant les intrants : fumier (facteur limitant principal), herbicides... (Michellon, 1992 ; Perret, 1993).

Recherche de solutions durables grâce aux couvertures végétales

L'efficacité de ces outils biologiques dans la conception de systèmes agricoles durables a été démontrée dans de nombreuses régions du monde (Hargrove, 1991 ; Monegat, 1991 ; Segry, 1993).

Les critères de choix des espèces pour obtenir une couverture totale sont : facilité d'implantation, plante à rhizome ou stolon, agressivité, pérennité ; soit pour les graminées : kikuyu, *Pennisetum clandestinum* ; pour les légumineuse : lotier velu, *Lotus uliginosus*.

La maîtrise de la couverture est parfois nécessaire pour éviter une concurrence avec la culture. Cette flore quasi monospécifique permet d'utiliser de très faibles doses d'herbicides (fluazifop-p-butyl sur kikuyu, bentazone sur lotier,...).

La couverture réduit la prolifération des adventices (allélopathie, semences photosensibles,...) et supprime les sarclages (Michellon *et al.*, 1992). Elle assure ainsi économie de main-d'œuvre et moindre pénibilité du travail.

Bien que la mise en œuvre de telles innovations soit récente, de nombreux résultats montrent leur impact positif à long terme.

Les rendements sont améliorés sur géranium avec légumineuse (figure 1) et sur culture maraîchère sans apport de fumier (figure 2).

Les conséquences sont également très favorables sur le milieu (Perret, Michellon, Tassin, 1994a et b) : protection totale contre l'érosion (figure 3) et forte réduction du ruissellement ; meilleure conservation de l'eau grâce à une infiltration accrue (aucune compétition pour l'eau avec la culture n'est décelée) ; restauration de la fertilité avec réactivation de la macrofaune



SOIL LOSS CONTROL AND SOIL PROPERTIES IMPROVEMENT BASED ON CROPPING SYSTEMS WITH COVER PLANTS AND HEDGEROWS IN REUNION ISLAND

S Perret, R Michellon and J Tassin, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, CIRAD, 97487 Saint Denis Cedex, France.

On Réunion Island's occidental slopes, recent changes in socio-economical conditions have induced single crop farming of pelargonium (Bridier 1985). The traditional land-use system included extended-fallows alternating with short cultivation periods. Nowadays, long time monoculture with hoeing for weed control favours soil degradation, erosion and yield decrease (Michellon 1992 Perret 1993). Total annual soil-loss currently averages 20 to 200 tons per ha on cultivated volcanic-ash soils. Downstream, runoff and gully-erosion damage landscape, substructures and lagoon ecosystem. To sustain agriculture and to protect environment under such conditions, conservative cropping systems are tested, based on cover plants associated with crops, and *Calliandra calothyrsus* hedgerows as plot boundaries. The ecological base underlying the functioning of these systems is the soil restoration (Lal 1989). The ecological sustainability is discussed in light of the erosion rates and the soil properties.

Methods : Water runoff and erosion processes were first studied, on severely and moderately degraded bare soils under pelargonium monoculture, then on kikuyu-grass (*Pennisetum clandestinum*) and greater-bird's-foot trefoil (*Lotus uliginosus*) covered soils. Sprinkler-infiltrometry was used on 1 square-meter elementary plots (Casenave 1982). Different situations were selected on each pelargonium cropping system. Aggregate size, total carbon and nitrogen were measured. Tension-infiltrometry used to quantify soil water conductivity (White et al 1992). The selected situations were : a long-time pelargonium monoculture (25 years), pelargonium 6-course-rotation with food crops, pelargonium association with kikuyu grass, and with trefoil.

Results : The cover plants' most important effect is to reduce erosion (table 1). Under strong rainfalls, runoff remains important, even if the infiltration rate increases. This shows that andisols are not sealing soils.

Soil type and management	n	Runoff (mm h ⁻¹)	Infiltration (mm h ⁻¹)	Soil loss (kg h ⁻¹ ha ⁻¹)
		I= 45/72 mm h ⁻¹	I= 45/72 mm h ⁻¹	I= 45/72 mm h ⁻¹
Degraded bare soils	14	12.6/30.8	32.4/41.2	208/635
Non-degraded bare soils	19	1.7/21.6	43.3/50.4	10/207
Kikuyu or Trefoil covered soils	12	0/15.3	45.0/56.7	0/6.7

Slope over 8-20% ; soil loss expressed as oven-dried-soil weight.

Table 1. Rainfall simulation data i.e, runoff, infiltration and soil loss averages, according to rainfall intensity I, soil management and degradation level.

Résumé

Sans jachère, la monoculture a conduit à une extrême dégradation du milieu. Grâce aux outils biologiques tels que les couvertures végétales, il est possible de reconstruire des systèmes stabilisés et diversifiés.

Un équilibre rompu dans une région vouée depuis un siècle à la culture du géranium rosat

Dans les Hauts sous le vent, la culture itinérante traditionnelle s'est sédentarisée. Faute de terre suffisante, les planteurs doivent renoncer à la jachère arborée : la fertilité du sol n'est plus restaurée, les adventices et les maladies prolifèrent, les rendements s'effondrent.

Les conséquences néfastes de la monoculture (exode rural, ...) ont conduit à la mise en oeuvre du Plan d'Aménagement des Hauts (1983), et d'une démarche de recherche appliquée.

Les solutions proposées se généralisent, mais développées en sol nu, elles maintiennent une érosion intense, accroissent les intrants (fumier), ...

Recherche de solutions durables grâce aux couvertures végétales

Choix d'espèces : couverture totale (rhizome, ou stolon), pérennes agressives, faciles à implanter, telles que :

- graminée : kikuyu, *Pennisetum clandestinum*
- légumineuse : lotier velu, *Lotus uliginosus*.

La maîtrise de la couverture est parfois nécessaire pour éviter une concurrence avec la culture. Cette flore quasi-monospécifique permet d'utiliser de très faibles doses d'herbicides (fluazifop-p-butyl sur kikuyu, bentazone sur lotier, ...).

La couverture réduit la prolifération des adventices (allélopathie, semences photosensibles, ...) et supprime les sarclages.

Les rendements sont améliorés sur géranium avec légumineuse et sur culture maraîchère sans apport de fumier.

Conséquences favorables sur le milieu :

- **Protection totale contre l'érosion et forte réduction du ruissellement.**
- **Meilleure conservation de l'eau** grâce à une infiltration accrue, au piègeage de la rosée, à un effet mulch. La compétition pour l'eau reste modérée et concentrée en période chaude.
- **Restauration de la fertilité** avec réactivation de la macrofaune du sol, amélioration de sa porosité et stabilité, stimulation de l'activité microbienne induisant un recyclage rapide des éléments minéraux et de la matière organique.

Les apports de fumier, indispensables en sol nu, peuvent être réduits, ainsi que les fumures minérales (fixation symbiotique d'azote, ...).

- **Amélioration de l'état sanitaire des cultures.**

Dans un environnement protégé, ces conditions de production favorables devraient conduire à une diversification et stabilisation des exploitations.

Table des matières

I- Les objectifs

II- Dispositif d'étude

2.1. Composantes des systèmes de culture

2.2. Les couvertures

2.3. Dispositifs expérimentaux et évaluation agronomique

2.4. Etudes thématiques

2.4.1. Matériel de semis

2.4.2. Choix des espèces et variétés

2.4.3. Implantation des espèces nouvelles

2.4.4. Interaction entre la couverture et la flore adventice ou les cultures

2.4.5. Modification des techniques culturales

III- Résultats

3.1. Implantation et choix des espèces

3.2. Les effets sur le milieu

3.2.1. Lutte contre l'érosion

3.2.2. Conservation de l'eau

3.2.3. Restauration de la fertilité des sols

3.3. Modification des techniques culturales

3.3.1. Modifications de la faune

3.3.2. Evolution de la flore et maîtrise de la couverture

3.3.3. Intérêt fourrager

IV- Conséquences agro-économiques

I- LES OBJECTIFS

Les Hauts de l'Ouest de La Réunion, situés au-dessus de 600 mètres d'altitude dans la région sous le vent, s'étendent sur 20 000 ha. L'agriculture constitue la principale activité de la population évaluée à 30 000 personnes.

Depuis la fin du XIX^e siècle, le "géranium rosat" a progressivement permis la mise en valeur des terrains alors inexploités, de la zone sous le vent de moyenne altitude. Mais au cours des deux dernières décennies, l'évolution rapide de l'économie de l'île a rompu l'équilibre dans cette région vouée depuis un siècle au géranium. La culture itinérante traditionnelle s'est sédentarisée. Faute de terre suffisante, les planteurs doivent renoncer à la jachère arborée : la fertilité du sol n'est plus restaurée, les adventices et les maladies prolifèrent, les rendements s'effondrent.

Les effets néfastes engendrés par cette monoculture de rente et leurs conséquences sur l'exode rural ont conduit à la mise en place du Plan d'Aménagement des Hauts (MISSION D'AMENAGEMENT DES HAUTS, 1983) et d'une démarche de recherche appliquée avec la participation des agriculteurs et autres acteurs du développement (MICHELLON, BRIDIER, 1988). L'intervention de la recherche agronomique s'inscrit dans le cadre de ses orientations et de la politique de coopération régionale. Aux objectifs de mise en valeur agricole de la zone (diversification, réduction des coûts, ...) s'ajoute la protection de l'environnement, notamment la conservation des sols, aujourd'hui prise en compte par les agriculteurs.

Des systèmes de productions diversifiés, élaborés avec les agriculteurs, les formateurs et les techniciens agricoles ont pu être proposés pour stabiliser les exploitations et améliorer leur revenu (MICHELLON, 1987). Mais développées en sol nu, elles maintiennent une érosion intense accentuée par la pente (moyenne 15 %) et évaluée en moyenne à 20 t de terre par ha et par an, les pertes atteignant 50 à 200 t par ha au cours d'années avec des précipitations orageuses (PERRET, MICHELLON, TASSIN, 1994a). Elles accroissent aussi les intrants : fumier (facteur limitant principal), herbicides, ...

La fixation d'une agriculture durable ne peut se concevoir qu'à partir de techniques de protection totale du capital sol. La mise au point récente des itinéraires associant les cultures pratiquées à des couvertures herbacées permanentes permet dorénavant de proposer des systèmes de culture stables, dans un environnement protégé.

II- DISPOSITIF D'ETUDE

La maîtrise de systèmes de culture diversifiés avec travail minimum et couverture permanente du sol nécessite que les études des solutions praticables soient compatibles avec les contraintes des agriculteurs. Pour ce faire, elles doivent être mises au point en milieu réel sur des unités de paysage représentatives (SEGUY et al., 1982). Les sols d'origine volcanique appartiennent tous à une série homogène qui se différencie selon l'altitude (RAUNET, 1991). Les expérimentations sont conduites vers 1000 m d'altitude sur andosol non perhydraté recevant annuellement 1400 mm de pluie, avec une période sèche de mai à octobre, et une température de 17 °C.

L'évaluation agrotechnique et économique rigoureuse des propositions par rapport aux techniques traditionnelles est réalisée sur des dispositifs d'étude pérennisés, en milieu paysan, sur un intervalle de temps de l'ordre d'une décennie. Les différents systèmes de culture étudiés sont conduits sur des parcelles d'une superficie de 10 à 30 ares, représentatives du parcellaire sur forte pente.

Les problèmes rencontrés dans chaque système sont résolus à partir d'essais thématiques permettant d'améliorer les itinéraires techniques, de proposer des solutions alternatives et d'expliquer les phénomènes observés.

2.1. Composantes des systèmes de culture

Les études sont réalisées par comparaison de systèmes de culture intensifs conduits soit en sol nu (actuellement diffusés chez les agriculteurs), soit avec couverture. Ils comportent du géranium rosat en culture pure, ainsi que des productions maraîchères ou vivrières (haricot, maïs, tomate ou pomme de terre), fruitières (pêchers) et plus récemment fourragères (avoine, chou).

Pour évaluer la portée scientifique et pratique de ces modes de gestion du sol, trois situations représentatives des andosols ont été retenues dans un premier temps :

- érodé, après monoculture du géranium,
- non dégradé, après canne à sucre,
- ou restauré par la jachère d'*Acacia mearnsii*.

2.2. Les couvertures

Pour l'ensemble des productions, trois modes de gestion du sol principaux sont comparés, avec ou sans apport de matière organique :

- sol nu,
- couverture de graminée : Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*),
- ou de légumineuses : lotier velu Maku (*Lotus uliginosus*).

Les deux espèces ont été retenues dans un premier temps pour la somme des qualités agronomiques qu'elles possèdent pour la protection du capital sol :

- couverture totale du sol (espèces à rhizome ou stolon),
- pérennité de la couverture,
- facilité d'implantation et de multiplication,
- facilité de contrôle soit par les animaux (alimentation fourragère), soit par les herbicides ou régulateurs de croissance,
- amélioration de la fertilité,
- agressivité vis-à-vis des adventices.

Lors de la mise en place, les résidus de la défriche ou de la culture précédente détruite au glyphosate (adventices, cannes et ses pailles, ...) sont soit mis en andains (cordons antiérosifs), soit conservés en place pour constituer une première couverture morte. Les plantes de couverture sont ensuite installées de façon simultanée ou non avec les cultures.

D'autres espèces nouvelles paraissant intéressantes, ont aussi progressivement été intégrées au dispositif et testées en association avec le géranium (arachide pérenne, *Arachis pintoï* ; trèfle du Kenya, *Trifolium semipilosum* ; *Axonopus affinis*, ...).

Pour compléter la production fourragère des couvertures et la protection contre les aléas climatiques, un embocagement des parcelles est réalisé avec des légumineuses arbustives (*Calliandra calothyrsus*, *Leucaena diversifolia*, ...).

Outre leur rôle de barrière mécanique, les haies fourragères en courbe de niveau permettent à l'agriculteur de produire plus aisément son fumier, condition sine qua non du maintien de la fertilité.

Les arbustes fourragers sont aussi installés "en plein", constituant ainsi des banques fourragères qui valorisent et améliorent les délaissés agricoles (10 à 15 % de la surface en moyenne).

2.3. Dispositifs expérimentaux et évaluation agronomique

Les différents systèmes de culture à comparer sont conduits sur des parcelles de taille suffisante permettant d'évaluer :

- l'effet des accidents climatiques (pluies torrentielles, vent violent, ...), leurs préjudices (érosion, réduction de fertilité), l'évolution de la faune et de la flore,
- les rendements des cultures et leur stabilité, qui peuvent être reliés aux évolutions des caractéristiques physico-chimiques et biologiques des sols selon leur mode de gestion,
- les temps de travaux et leur pénibilité, ainsi que les coûts de production, marges et valorisations des journées de travail.

Le suivi agronomique de ces systèmes de culture comporte les études suivantes :

- effet sur le milieu :

* sol : . suivi évaluation des caractéristiques physico-chimiques et biologiques à relier aux performances agronomiques des cultures selon les modes de gestion du sol (cartographie initiale et après trois ans)

. fonctionnement hydrodynamique superficiel (érosion) : couple infiltration - ruissellement sous pluie simulée (infiltrométrie à aspersion), paramètres hydrodynamiques intrinsèques (infiltrométrie à succion contrôlée), incidence des paramètres édaphiques superficiels et nature des ruissellements.

Grâce à l'appui de G. CALLOT (INRA-Montpellier) et C. et L. BOURGUIGNON (L.A.M.S.), ces suivis ont été complétés par :

- l'observation *in situ* des structures physiques et biologiques des différents horizons et de leur liaison avec la distribution des systèmes racinaires,
- une appréciation de l'activité microbiologique du sol par des tests de terrain et des dosages d'un exoenzyme microbienne.

* évolution des adventices et de la faune.

- plantes de couverture :

implantation et contrôle.

- culture principale :

- . semis plantation
- . enracinement et développement
- . contrôle du parasitisme et des adventices
- . productivité : composantes du rendement et production.

- conséquences agro-économiques :

- . temps de travaux et productivité de la main-d'oeuvre aux périodes critiques de l'année,
- . évaluation des charges et des produits.

2.4. Etudes thématiques

2.4.1. Matériel de semis

L'introduction des matériels d'implantation est réalisée essentiellement en provenance du Brésil. Les cannes planteuses, testées depuis quelques années permettent des semis directs en poquets au travers d'un paillage, localisent la fumure minérale et conduisent à des réductions très importantes des temps de travaux.

En mécanisation manuelle, elles ont été comparées aux roues semeuses, qui peuvent aussi être montées derrière motoculteur pour réaliser des rangs jumelés.

Le matériel de petite motorisation introduit sous forme de kits d'adaptation de semoir est encore en cours d'évaluation.

2.4.2. Choix des espèces et variétés

Grâce aux études antérieures du CIRAD concernant les plantes fourragères, les introductions nouvelles ont pu être limitées aux espèces présentant un intérêt particulier (port rampant, plante utilisée en association ou en couverture du sol dans des zones aux conditions édaphiques voisines, ...).

Les espèces les mieux adaptées sont introduites dans les systèmes de culture selon une séquence altitudinale dans la zone sous le vent (100 à 1400 m) ou au vent (100 à 400 m).

2.4.3. Implantation des couvertures

Outre les tests concernant la mise en place des couvertures (sous couvert de vivrier ou en pur, par semis direct ou à la volée, ou par bouturage, ...) des essais de matières actives herbicides ont été réalisés pour leur contrôle.

Leur objectif était de permettre :

- l'installation de la couverture, sans concurrence excessive des adventices ;
- la maîtrise de la couverture ; si nécessaire avant installation de la culture, ou en cours de culture;
- et d'éviter la levée d'adventices aux emplacements où la couverture a été détruite.

Ces essais ont porté sur le kikuyu et les légumineuses : arachide pérenne, lotier velu, desmodium et trèfle du Kenya.

2.4.4. Interactions entre la couverture et la flore adventice ou les cultures

Les couvertures conduisent à une réduction de la prolifération des adventices, mais aussi peuvent perturber les conditions de croissance initiale des plantes vivrières. L'évolution observée de la flore est liée à des modifications du microclimat au niveau du sol (semences photosensibles masquées par la litière, ...). Elle peut aussi être engendrée par la libération de substances inhibitrices de la germination par ces tapis végétaux vivants ou en voie de décomposition.

Ces effets allélopathiques, mis en évidence sur kikuyu (CHANG-HUNG-CHOU et al., 1987) et qui sont parfois difficiles à différencier au champ des phénomènes de concurrence, auraient d'autres implications agronomiques sur la gestion de la couverture.

Outre les observations réalisées sur les systèmes de culture en sol nu ou avec couverture, des expérimentations sont mises en place au laboratoire pour évaluer les effets :

- des exsudats racinaires ;
- des jus de lessivage des parties aériennes ;
- ou de la décomposition des débris des litières (FONTAR, THOMAS, 1992 ; HUMEAU, 1993).

2.4.5. Modifications des techniques culturales

Les modifications des techniques culturales induites par les couvertures portent sur :

- les densités des cultures ;
- l'adaptation des traitements phytosanitaires ;
- le réajustement des fumures en fonction des restitutions organiques, de la fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses, ...

III- RESULTATS

3.1. Implantation et choix des couvertures

Lors de la mise en place, les résidus de la défriche ou de la culture précédente détruite au glyphosate (adventices, pailles de canne à sucre, ...), sont soit mis andains pour matérialiser les cordons antiérosifs indispensables en sol nu, soit conservés en place pour constituer une première couverture morte. Les plantes de couvertures destinées à renouveler ce tapis sont ensuite installées progressivement, de façon simultanée ou non avec les cultures.

La couverture morte a un effet bénéfique très net sur la plupart des cultures, en particulier celle du géranium. Grâce à une humidité supérieure des horizons superficiels (DOREE, 1989), à la fourniture de résidus organiques au sol qui favorisent l'activité microbienne et la minéralisation (PY, CLARIOND, 1989), ... les rendements du géranium sont accrus par rapport au sol nu, et la prolifération des adventices est réduite. La couverture morte améliore très nettement les résultats économiques (figures 1 et 2, MICHELLON et al., 1994), mais fugace, elle doit être renouvelée pour ne pas perdre ses effets bénéfiques. Dans le cas de la culture pérenne du géranium, une couverture herbacée permanente semble donc plus appropriée.

Alors que l'implantation d'une couverture dans un verger ne semble poser aucun problème, les premières études ont montré qu'il était impératif de mettre en place le géranium, culture à port bas, dans une couverture déjà installée. L'inverse peut conduire à une concurrence des adventices vis-à-vis du géranium ou à des temps de travaux trop importants (sarclages), sauf dans le cas de la défriche de l'*Acacia mearnsii* lorsque l'enherbement est très limité.

Généralement, il apparaît indispensable d'éliminer les adventices pérennes les plus agressives avant d'implanter la couverture avec des herbicides totaux (glyphosate, paraquat, ...). Les herbicides sélectifs utilisables en désherbage précoce sont en effet insuffisants pour éliminer : *Phalaris arundinacea*, *Oxalis* sp., *Cyperus rotundus*, ... et les repousses de canne (MICHELLON et al., 1991 et 1992).

Les légumineuses ne sont pas les plus exigeantes lors de leur mise en place. Ainsi, le lotier, choisi car il constitue un tapis très dense, peut être semé directement à la volée. Ces semences sont inoculées au préalable avec leur *Rhizobium* spécifique et enrobées pour les protéger contre la lumière. L'enrobage modifie momentanément l'environnement immédiat de la semence en cours de germination et permet ainsi l'établissement définitif de la symbiose, sans recourir à un amendement onéreux de l'ensemble du terrain.

Par contre pour le kikuyu, dont la rusticité et l'agressivité ont conduit à la quasi généralisation dans les prairies d'altitude, la levée est nulle en semis à la volée. Il est préférable de l'implanter en semis direct en sol nu, comme les autres graminées fourragères, ou par bouturage.

Il n'est cependant pas nécessaire d'immobiliser de surface productive pour l'installation des couvertures. Leur développement est favorisé sous couvert d'une culture vivrière ou maraîchère et de plus, lorsque l'implantation est simultanée, le rendement de la culture ne semble pas affecté par cette pratique. Sans charges supplémentaires, les nouvelles techniques culturales permettent alors de réduire considérablement les temps de travaux, en particulier de désherbage, même dans le cas du kikuyu dont le bouturage est une opération fastidieuse (figure 3, MICHELLON et al., 1992).

D'autres espèces sont introduites dans les systèmes de culture car elles apparaissent bien adaptées à la zone, comme le trèfle du Kenya, *Trifolium semipilosum* ou l'arachide pérenne, *Arachis pintoï*.

Le trèfle, espèce très mellifère, s'implante plus difficilement que le lotier, sauf par boutures. L'arachide pérenne d'introduction récente allie une multiplication aisée, par graine ou par bouture, à une large adaptabilité climatique, avec une préférence pour les zones humides.

3.2. Les effets sur le milieu

3.2.1. Lutte contre l'érosion

La lutte contre l'érosion, rappelons-le, constitue un préalable indispensable à l'intensification des systèmes. Elle peut être réduite par des techniques culturales appropriées et des aménagements intégrés : plantations en lignes suivant les courbes de niveau, travail minimum du sol, cordons antiérosifs (constitués de légumineuses fourragères arbustives, bana grass, ...).

Mais parmi les différents paramètres déterminant l'érodibilité des substrats agricoles, la couverture du sol est l'un des plus importants et surtout l'un de ceux que l'on peut modifier à peu de frais, sans avoir recours à un profilage de la surface du sol.

La présence d'une couverture herbacée continue sur le sol permet un contrôle total de l'érosion (figure 4). Elle protège en outre les agrégats en surface de l'action destabilisante des gouttes de pluie (PERRET, MICHELLON, TASSIN, 1994 a et b).

3.2.2. Conservation de l'eau

La couverture assure une meilleure conservation de l'eau. Elle réduit considérablement le ruissellement, et permet un filtrage continu des eaux de surface.

Cependant, sous de très fortes intensités de pluie, le ruissellement reste important (tableau 1), et pour l'absorber, la gestion du sol avec les couvertures doit être complétée par des haies arbustives qui améliorent la conductivité hydraulique (tableau 2). Cet embocagement permet en outre de s'affranchir totalement des dégâts cycloniques (vents violents).

La couverture augmente très sensiblement l'infiltration de l'eau, mais elle modifie aussi sensiblement le bilan en saison sèche car elle favorise les précipitations occultes (rosée). Aucune compétition pour l'eau n'apparaît alors pour le haricot ou la tomate associés au kikuyu ou au lotier (VEILLET, 1993 ; NIETO, 1994).

3.2.3. Restauration de la fertilité des sols

La comparaison de divers systèmes de culture montre le rôle prépondérant des couvertures végétales dans la restauration de la fertilité des sols grâce à leur réactivation biologique (BURLE, 1993) comme le montrent les profils culturaux (figure 5).

Leurs caractéristiques physiques et hydriques sont totalement modifiées, en particulier la macroporosité, la stabilité structurale des agrégats, la conductivité hydraulique et la rétention en eau sont sensiblement augmentées (MICHELLON, PERRET, ANSELLEM, 1994).

La création d'un milieu plus aéré permet une activité microbologique intense qui assurerait un recyclage des éléments minéraux.

La couverture vivante, ou morte, fournit des résidus au sol qui remplacent en partie les apports de matière organique, indispensables en sol nu (figure 6).

L'état de la matière organique et l'activité biologique sont les pivots de l'amélioration de la fertilité des andosols. Ces sols présentent un taux de matière organique toujours très élevé, mais elle est fortement liée aux produits amorphes et inutilisable (RAUNET, 1991 ; PY, CLARIOND, 1989).

En sol nu, les apports de matière organique fraîche ont une action prépondérante sur le rendement des cultures. Ils permettent de régulariser leurs productions malgré la variabilité de la fertilité. Ils présentent cependant une action limitée sur la culture suivante, lorsqu'ils ne sont pas renouvelés (MICHELLON, 1988).

La matière organique apportée servirait de substrat énergétique indispensable au métabolisme de la microflore. Présente en abondance, elle aurait une activité intense (mesurée par respirométrie) sous friche d'*Acacia mearnsii*. Cette activité réduite sous culture, serait en partie rétablie grâce aux apports organiques qui joueraient un rôle important dans la nutrition des végétaux.

Les plantes de couverture fournissent des résidus au sol qui favorisent une activité microbienne très élevée, parfois équivalente à celle observée sous friche (DOREE, 1989 ; PY, CLARIOND, 1989). La minéralisation dont bénéficie la culture est accrue ; les apports de matière organique ne seraient alors plus indispensables, car ils ne semblent pas améliorer les rendements (MICHELLON et al., 1992).

Dans le cas des associations avec les légumineuses de couverture, la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique pourrait contribuer à enrichir le sol et à améliorer la nutrition de la culture. Des études préliminaires ont été réalisées avec le laboratoire de Physiologie de Biochimie Végétale de l'Université de Caen, pour évaluer le transfert d'azote fixé par la légumineuse de couverture à la culture.

La fixation symbiotique par le lotier semblerait très active et une part importante de cet azote serait transférée au géranium. Cet apport d'azote pourrait être supprimé dans son association avec le maïs (MICHELLON, ANSELLEM, NARANIN, 1994 ; figure 7).

3.3. Modification des techniques culturales

L'amélioration de la fertilité par les couvertures végétales a des conséquences immédiates sur la production de la culture grâce à la stimulation de l'activité microbienne du sol (l'apport de fumier n'est plus indispensable) et sur les besoins en fumure minérale qui pourront être sensiblement réduits.

D'autre part, certaines maladies des plantes se propagent moins rapidement dans les associations (TRENATH, 1976). Ce phénomène sera certainement masqué dans le dispositif actuel. Les traitements fongicides pratiqués ont en effet été mis au point en sol nu et sont souvent préventifs, comme dans le cas de l'antracnose du géranium, *Glomerella vanillae* (Zim.) Petch. et Rag. var. *Pelargonii* Bouriquet. La dissémination de ses spores serait par surcroît favorisée par les éclaboussures de terre en sol nu (GAILLETON, 1962).

3.3.1. Modifications de la faune

Des modifications de la faune apparaissent avec couverture et peuvent présenter des inconvénients, comme la prolifération des limaces (conditions plus humides), ou être favorables, en particulier, aux vers de terre (DOREE, 1989).

En zone infestée par le ver blanc, *Hoplochelus marginalis*, les dégâts occasionnés par cet insecte apparaissent réduits avec couverture. Les larves sont alors disséminées dans l'ensemble de l'horizon supérieur du terrain, alors qu'en sol nu elles se concentrent sur les racines des plantes cultivées (rôle de leurre de l'ensemble racinaire).

Dans le cas des parties aériennes, les dégâts de la mouche du gros genou du haricot, *Ophyomyia phaseoli*, sont réduits avec couverture morte (paille de riz) ou vive (*Chloris gayana*, *Desmodium intortum*).

Sur géranium, les attaques de *Cratopus humeralis* sont supprimées en association avec le lotier velu qui constitue une plante piège. La réduction des dégâts de cet insecte très polyphage pourrait conduire à généraliser la couverture de lotier dans les vergers tempérés (pêcher, pommier, ...).

3.3.2. Evolution de la flore et maîtrise de la couverture

L'envahissement par les adventices constitue l'un des facteurs essentiels de dégradation du système traditionnel (MICHELLON, 1987).

L'enherbement, limité pendant les premiers mois qui suivent la défriche de l'*Acacia mearnsii*, devient ensuite difficile à maîtriser par de simples sarclages, en particulier pendant la saison cyclonique pour les plantes à multiplication végétative : *Phalaris arundinacea*, *Oxalis* sp., *Cyperus rotundus*, ...

Une amélioration de la productivité de la main-d'oeuvre est possible par l'emploi des herbicides de pré et de post-levée utilisés pour obtenir un sol nu. Les sarclages restent cependant nécessaires, en particulier pour le géranium, car les mauvaises herbes localisées sur le rang ne sont pas détruites, et certaines d'entre-elles sont relativement tolérantes aux matières actives utilisables (en particulier *Phalaris arundinacea*, *Plantago lanceolata*, *Oxalis* sp., ...). Leur efficacité est souvent très limitée lorsque le sol est sec (atrazine, ...).

En présence d'une couverture, la prolifération des mauvaises herbes apparaît réduite dans le tapis végétal, voire contrôlée par le tapis lui-même. Outre les difficultés d'installation des adventices dans un couvert végétal dense (semences photosensibles masquées par la litière), certaines plantes de couverture présentent des effets allélopathiques, comme le kikuyu (FONTAR, THOMAS, 1992 ; HUMEAU, 1993 et tableau 3). Cet effet est aussi dépressif sur la levée des graines des cultures et, même si la couverture est légèrement écartée lors du semis, il est parfois nécessaire d'augmenter la quantité de semences.

Pour éviter une éventuelle concurrence avec la culture, la maîtrise du développement de la couverture est aisée et peu onéreuse. Le fait de disposer d'une flore homogène, quasi monospécifique, permet d'utiliser des doses très faibles d'herbicides. Il est d'ailleurs impératif de ne pas détruire la couverture sous peine de perdre ses effets bénéfiques : comme en sol nu, les adventices très agressives prolifèrent (*Cyperus rotundus*, *C. esculentus*, ...).

La mise en place des cultures est facilitée par un herbicide de contact (diquat avec légumineuse, paraquat, ...), et le recours à une canne planteuse ou à des plants racinés pour réduire la période pendant laquelle les jeunes plantes risquent d'être concurrencées (tomate, géranium, ...).

En cours de végétation, le kikuyu est maîtrisé par des applications d'un graminicide très spécifique, le fluazifop-p-butyl (à raison de 60 à 125 g par ha, selon la saison). Son efficacité peut cependant conduire à détruire le kikuyu par taches : des herbicides résiduels permettent alors d'éviter la prolifération des adventices. Une gestion beaucoup plus écologique semble possible grâce à une substance de croissance, la méfluidide, qui inhiberait le développement du kikuyu pendant plusieurs mois, à des doses inférieures à 100 g par ha (MICHELLON et al., 1994).

Parmi les nombreuses introductions d'espèces comme plantes de couverture, le lotier velu semble présenter un grand intérêt car il constitue un tapis très dense. Sa maîtrise, parfois nécessaire, est aisée puisque son dessèchement localisé peut être obtenu par une application d'engrais ou d'herbicide spécifique, à très faible dose : bentazone à raison de 150 g par ha (DEJANTE, MICHELLON, VINCENT, 1991 et tableau 4).

Les légumineuses volubiles, *Desmodium intortum* ou *D. uncinatum*, peuvent être associées aux cultures de cycle court (haricot, tomate, crucifères, ...) ou à port dressé (maïs), en ayant recours au diquat avant plantation, mais pas aux plantes pérennes à port bas (géranium).

D'autres espèces, introduites plus récemment, semblent bien adaptées à la zone et ne présenteraient aucune gêne pour la culture de géranium, en particulier les légumineuses : arachide pérenne, *Arachis pintoï*, et trèfle du Kenya, *Trifolium semipilosum* (MICHELLON, ANSELLEM, 1993, figure 8 et tableau 5).

3.3.3. Intérêt fourrager

Outre les couvertures qui sont exploitées pour les animaux (bovins caprins) et dont la production n'est pas négligeable (figure 9), les haies de *Calliandra calothyrsus* constituent une bonne réserve sur pied grâce à leur feuillage abondant (MARECHAUX, 1993).

Tableau 3 : Différents travaux sur les effets allélopathiques du kikuyu

Effets des exsudats racinaires ou des jus de macération sur la croissance de plantes développées ou leur germination

Familles	Espèces	Exsudats racinaires	Jus de macération de parties aériennes	
			fraîches	séchées
Bétulacées	<i>Alnus formosana</i> (2)			--
Composées	<i>Ageratum conyzoides</i> (3)		0	--
	<i>Bidens pilosa</i> (3) (4)	--	-	--
	<i>Lactuca sativa</i> (2)			[- -]
Crucifères	<i>Brassica chinensis</i> (3)			[- -]
	<i>B. oleracea capitata</i> (3)	[0]	[-]	[- -]
Cypéracées	<i>Cyperus rotundus</i> (3) (4)	0	-	--
Géraniacées	<i>Pelargonium X asperum</i> (3)	0	+	0
Graminées	<i>Brachiaria mutica</i> (1)			[0]
	<i>Festuca arundinacea</i> (2)			[- -]
	<i>Lolium perenne</i> (3)	0[0]	[0]	--[- -]
	<i>Lolium multiflorum</i> (2)			[- -]
	<i>Miscanthus floridulus</i> (2)			--
	<i>Oriza sativa</i> (1)			[-]
	<i>Paspalum paniculatum</i> (1)		0	
	<i>Phalaris arundinacea</i> (3)		0	
	<i>Zea mays</i> (3)	--	+	0
Lauracées	<i>Cinnamomum camphora</i> (2)			++
Oxalidacées	<i>Oxalis latifolia</i> (3)	--	0	
Papilionacées	<i>Phaseolus vulgaris</i> (3)	0	0	
Solanacées	<i>Lycopersicon esculentum</i> (3) (4)	0[-]	0[-]	0[- -]

Notations : (1), (2), (3) et (4) = tests effectués respectivement par CHOU et al. (1987), par CHOU et al. (1989), par FONTAR et THOMAS (1992) ou par HUMEAU (1993)
 0 = pas d'effet significatif
 + ou - = stimule ou inhibe modérément (de moins de 25 %)
 ++ ou -- = stimule ou inhibe très sensiblement (de plus de 25 %)
 Les tests de germination sont notés entre crochets.

Type d'action de l'herbicide	Matière active	Dose de matière active par ha		Remarque
		en cours d'installation	sur couverture installée	
Sélectif ou peu agressif	Fenoxaprop-éthyl	140 g		(1) isomère commercialisé en France
	Fluazifop-p-butyl	125 g à 250 g	60 à 125 g	(1) et (3), phytotoxique en association avec la bentazone
	Halaxyfop-R	125 g		(1)
	Isoxaben		500 g	(2)
	Ioxynil	375 g	375 à 625 g	(2) en cours d'installation dessèchement partiel à cette dose
	Propaquizafop	50 à 100 g		(1)
	Propyzamide		600 g	(2)
Effet de contact ou limité dans le temps	Pyridate	560 à 1125 g		(1)
	Quizalofop éthyl	50 g		(1)
	Atrazine		250 g à 1250 g	(2)
	Bentazone		120 g à 360 g	(2), lotier détruit à 720 g/ha
	Bromaxynil	300 g		(1)
	Diquat		300 g à 600 g	(2)
	Diuron		300 g à 600 g	(2)
	Diuron + Paraquat		200 g + 400 g	(2)
	Glufosinate-ammonium		200 g	(2)
	Hexazinone		450 g	(2)
	Hexazinone + Paraquat		450 g + 100 g	(2)
Linuron		500 g	(1)	
Methabenzthiazuron	600 g			
Paraquat		400 g à 600 g	(2)	
Effet durable	Acifluorfène-sodium	440 g		(1)
	Asulame	800 g		(1)
	Bentazone	960 g	720 g	(1), (2), (3) employé seul ou avec le fluazifop-p-butyl à 125 g/ha
	Clopyralid		120 g	(2)
	2,4-D	720 g	1000 g	(1), (2)
	2,4-DB	960 g à 2100 g	2100 g	(1), (2)
	Dicamba	375 g		(1)
	Dicamba + 2,4-D		455 g + 1155 g	(1), (2)
	Fluoroxypyr	200 g	240 g	
	Glyphosate		1080 g	(2)
	Ioxynil + Dicamba + Mecoprop		350 g + 300 g + 1175 g	
	2,4-MCPA	500 g	900 g	(1), (2)
	2,4-MCPB	1600 g	1600 g	(2)

Tableau 4 : Classement des matières actives herbicides selon leur type d'action en fonction du stade de la couverture de lotier velu

Les résultats des expérimentations sont complétés par ceux de (2) DEJANTE et al. (1991) et (3) MICHELLON et al. (1994) obtenus aussi sur la variété Maku, et par ceux de (1) LOCH et HARVEY (1990) qui ont également appliqué les herbicides en post-levée, mais sur le cultivar Sharnae.

Type d'action de l'herbicide	Matière active	Dose de matière active utilisée par ha		Remarque
		en cours d'installation	sur couverture installée	
Sélectif ou peu agressif	Acifluorène-sodium	448 g	-	(2) et (3)
	Alachlor	2250 g	-	En pré-émergence (4)
	Alachlor + Atrazine	-	2000 g + 860 g	Phytotoxique en cours d'installation (1)
	Atrazine	-	1500 g	
	Bentazone	360 g à 2400 g	-	(1), (2), (3), (4)
	Clopyralid	-	250 g	(1), (2), (3) en cours d'installation parfois phytotoxique en mélange avec le diuron ou l'ioxynil
	2,4-D	360 g à 720 g	360 g à 1080 g	
	2,4-DB	560 g à 2100 g	-	(1), (2), (3)
	Diuron	-	2400 g	Parfois phytotoxique en mélange avec le 2,4-D
	Fluazifop-p-butyl	190 g	-	(2), (3)
	Glyphosate	-	800 g	Sur repousse après récolte (4)
	Héxazinone	-	450 g	Phytotoxique en cours d'installation (1)
	2,4-MCPB	1600 g	-	(1)
	Métolachlor + Atrazine	-	2000 g + 1000 g	(4)
Métribuzine	-	1500 g		
Oryzalin	3150 g	-	(4)	
Sétoxydime	186 à 400 g	-	(2), (3), (4)	
Effet de contact ou limité dans le temps	Atrazine	1250 g	-	(1)
	Diquat	-	800 g	(1) parfois phytotoxique en mélange avec le 2,4-D
	Glufosinate ammonium	-	750 g	
	Héxazinone	450 g	-	(1)
	Ioxynil	500 g	-	(1) sans synergie dans les associations avec atrazine, diuron, héxazinone ou métribuzine
Paraquat	600 g	800 g		
	Paraquat + Diquat	-	600 g + 800 g	
Effet durable	Dicamba	375 g	-	(2)
	Dicamba + 2,4-D	-	260 g + 660 g	Destruction totale. Efficacité accrue en période de croissance active, et réduite avec atrazine et diuron
	Glyphosate	-	2160 g à 4320 g	
	Glyphosate + 2,4-D	-	480 g + 640 g à 960 g + 1080 g	Destruction totale. Efficacité réduite en été
	Pichlorame	-	720 g	Destruction totale et effet rémanent
	Sulfosate	-	5760 g	Destruction totale
Triclopyr	-	960 g	Destruction totale	
Triclopyr + Clopyralid	-	960 g + 240 g	Destruction totale	

Tableau 5 : Classement des matières actives herbicides selon leur type d'action en fonction du stade de la couverture d'arachide pérenne

Les résultats des expérimentations actuelles sont complétés par ceux de ⁽¹⁾DEJANTE et al. (1991), ⁽²⁾LOCH et HARVEY (1990), ⁽³⁾HAWTON et al. (1990) et ⁽⁴⁾COOK et FRANKLIN (1988) qui ont aussi appliqué les herbicides en post-levée (sauf l'alachlore)

IV- CONSEQUENCES AGRO-ECONOMIQUES

Les modes de gestion du sol et des cultures avec couverture, en cours d'élaboration, permettent généralement d'obtenir des rendements des cultures équivalents ou supérieurs à ceux obtenus dans les itinéraires en sol nu (figures 4 et 10), ainsi qu'une production fourragère notable.

De plus, ils améliorent souvent la productivité du travail grâce à une réduction de la prolifération des adventices, limitant ainsi les sarclages.

L'ensemble des effets favorables induits par ces nouvelles techniques et, en particulier la protection totale du milieu vis-à-vis des accidents climatiques, devrait conduire à moyen terme à une amélioration très nette des conditions de production, à une diversification et une stabilisation des exploitations agricoles.

Ces recherches très efficaces en milieu réel constituent des outils pédagogiques privilégiés pour les formateurs. Elles s'intègrent dans des Opérations Locales d'Aménagement de Terroir (HEBERT, 1992) qui associent collectivement les agriculteurs à leurs partenaires et assurent une diffusion plus rapide des nouveaux modes de gestion des sols.

Leurs conséquences dépassent le cadre agricole par la préservation des infrastructures et lagons, la mise en valeur touristique.

Grâce aux outils biologiques, tels que les couvertures végétales, il est donc possible de reconstruire des systèmes stabilisés et diversifiés. Leur efficacité dans la conception de systèmes agricoles durables est actuellement démontrée dans de nombreuses régions du monde (HARGROVE, 1991 ; MONGENAT, 1991 ; SEGUY, 1993).

BIBLIOGRAPHIE

- BURLE D., 1993 : Effets des couvertures végétales permanents associées au géranium sur la fertilité des andosols de la Réunion. Mémoire ITAT ENITA Bordeaux - CIRAD-CA, 49 p. + annexes.
- BRIDIER B., 1985 : Quel avenir pour le géranium pour le géranium et de développement agricole des Hauts de l'Ouest de la Réunion ? L'Agronomie Tropicale vol. 40, n° 4, p. 342-355.
- CHANG CHUNG CHOU et al., 1987 : The selective allelopathic interaction of a pasture forest intercropping system in Taiwan. Plant and Soil, 98, p. 31-41.
- CHANG CHUNG CHOU et al., 1989 : The selective allelopathic interaction of a pasture forest intercropping in Taiwan : interaction between kikuyu grass and three hardwood plants. Plant and Soil, 116, p. 207-215.
- CIRAD-CNRS-INRA-ORSTOM-UNIVERSITE, 1988 : Les andosols de l'île de la Réunion. Préparation d'un programme de recherches pluridisciplinaires. Séminaire de Saint-Denis du 24 mai au 1^{er} juin 1988, 213 p.
- DEJANTE P., MICHELLON R., VINCENT G., 1991 : Essai d'herbicides sur légumineuses de couverture. CIRAD-Réunion n° 1, 19 p. + annexes.
- DEMARNE F., MICHELLON R., 1994 : Influence du mode de gestion du sol sur la qualité de l'huile essentielle de géranium rosat. CIRAD-Réunion, fiche d'essai n° 8.
- DOREE J.F., 1989 : Intérêt du travail minimum avec couverture dans les systèmes de culture des Hauts de l'Ouest de La Réunion. ENSAM-CNEARC-IRAT/Réunion, 96 p.
- FONTAR L., THOMAS X., 1992 : Etude des effets allélopathiques d'une couverture de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) sur géranium, cultures vivrières et certaines plantes adventices. ESA/CIRAD-Réunion, 103 p. + annexes.
- GAILLETON J.M., 1962 : Rapport sur le traitement de l'anthracnose ou rouille du géranium rosat à la Réunion. Direction des Services Agricoles de la Réunion, 39 p.
- HARGROVE W.L., Ed., 1991 : Cover crops for clean water. Ankeny, U.S.A., Soil and Water Conservation Society, 198 p
- HEBERT A., 1992 : La protection contre l'érosion. In : Le géranium rosat à la Réunion, C.A.H., Saint-Denis, Réunion, Graphica, p. 27-38
- HUMEAU L., 1993 : Etude des effets allélopathiques du Kikuyu (*Pennisetum clandestinum* H.) sur la tomate (*Lycopersicum esculentum* M.) et deux plantes adventices (*Cyperus rotundus* L. et *Bidens pilosa* L. Université de la Réunion/CIRAD-Réunion, 24 p. + annexes.
- MARECHAUX S., 1993 : Les haies fourragères dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion : l'intégration du *Calliandra calothyrsus* pour une protection productive. Mémoire DESS, Paris XII/CIRAD-Forêt, 82 p.
- MICHELLON R., 1987 : Amélioration des systèmes de culture à base de géranium. Rapport Annuel 1987 (IRAT), 24 p.
- MICHELLON R., 1988 : Systèmes de culture dans les sols andiques. In : CIRAD et al., 1988.

- MICHELLON R., 1992 : Gestion des sols et cultures avec couverture végétale. Rapport intermédiaire d'une recherche financée par le MRT. Décision d'aide n° 90.G. 0530. CIRAD-Réunion, 22 p.
- MICHELLON R., 1992 : Les systèmes de culture. In : Le géranium rosat à la Réunion. C.A.H., Saint-Denis, Réunion, Graphica, p. 15-22.
- MICHELLON R., ANSELLEM Y., 1993 : Essai d'herbicides sur l'arachide pérenne. CIRAD-Réunion, 23 p. + annexes.
- MICHELLON R., ANSELLEM Y., NARANIN L., 1994 : Réduction des fumures grâce aux légumineuses de couverture. CIRAD-CA Réunion n° 2, 10 p. + annexes.
- MICHELLON R., BRIDIER B., 1988 : Evolution d'un programme de recherche sur les systèmes d'exploitation des Hauts de l'Ouest de La Réunion. Agronomie Tropicale, vol. 43, n° 4, p. 317-325.
- MICHELLON R., DEJANTE P., VINCENT G., 1992 : Implantation de couvertures en association avec des cultures vivrières : aspects techniques et économiques. CIRAD/IRAT-Réunion, n° 1, 14 p. + annexes.
- MICHELLON R., DEJANTE P., VINCENT G., NATIVEL R., 1994 : Gestion d'une couverture de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) associée au géranium rosat. CIRAD-CA Réunion n° 3, 41 p. + annexes.
- MICHELLON R., PERRET S., 1994 : Conception de systèmes agricoles durables avec couverture herbacée permanente pour les Hauts de la Réunion. Symposium international : recherches-système en agriculture et développement rural. Montpellier, France, 21-25 novembre. CIRAD Ed., p. 507-508.
- MICHELLON R., PERRET S., ANSELLEM Y., 1994 : Modes de gestion écologique des sols et des systèmes de culture à base de géranium dans les Hauts de l'Ouest de l'île de la Réunion. CIRAD-Réunion.
- MICHELLON R., VINCENT G., NATIVEL R., 1994 : Gestion d'une couverture de lotier (*Lotus uliginosus*) associée au géranium rosat. CIRAD-Réunion, fiche n° 9.
- MISSION D'AMENAGEMENT DES HAUTS, 1983 : L'aménagement des Hauts. Saint-Denis D.D.A., 32 p.
- MONEGAT C., 1991 : Plantas de cobertura do solo : características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, Brésil, Monegat Ed., 337 p.
- PERRET S., 1993 : Propriétés chimiques, hydriques et mécaniques de sols andiques de la Réunion. Thèse E.N.S.A. Montpellier, 278 p.
- PERRET S., MICHELLON R., TASSIN J., 1994 a : Soil loss control and soil properties improvment based on cropping systems with cover plants and hedgerows in Reunion Island. Proc. 3rd ESA Congress, 18-22 septembre, Abano-Padova, Italie, p. 736-737.
- PERRET S., MICHELLON R., TASSIN J., 1994 b : Agroecological practices as tools for sustainable management of erosion-exposed tropical catchments : quantifying their effects on soil restoration and erosion control in Reunion Island (Indian Ocean, French Overseas Territories). J. WILEY Ed. Londres U.K. A paraître. In : Sustainable Management of Tropical Catchment.

- PY F., CLARIOND A., 1989 : Etude des relations entre stock organique, stabilité structurale et activité microbienne. D.A.A. ENSAT/IRAT-Réunion, 103 p.
- RAUNET M., 1991 : Le milieu physique et les sols de l'île de La Réunion. Conséquences pour la mise en valeur agricole. CIRAD-Réunion, Région Réunion, 438 p.
- SEGUY L., 1982 : Mise au point de modèles de systèmes de production en culture manuelle à base de riz pluvial utilisable par les petits producteurs de la région de Cocaïs au Maranhao, Nord-Est du Brésil - Etat du Maranhao. L'Agronomie Tropicale vol. 37 (3), p. 233-261.
- SEGUY L. et al. : 1993 : Os sistemas de culturas para a região do médio norte do Mato Grosso. Recomendações técnicas. C.I.R.A.D., C.L., RHODIA, Brésil, 58 p.
- TRENBATH B.R., 1976 : Plant interaction in mixed-crop communities. In : ASA et al. : Multiple Cropping, p. 129-169.
- VEILLET S., 1993 : Etude de l'évolution de l'état hydrique d'un andosol selon différents systèmes de culture. Mémoire DAA, ENSAM/CIRAD, 55 p.