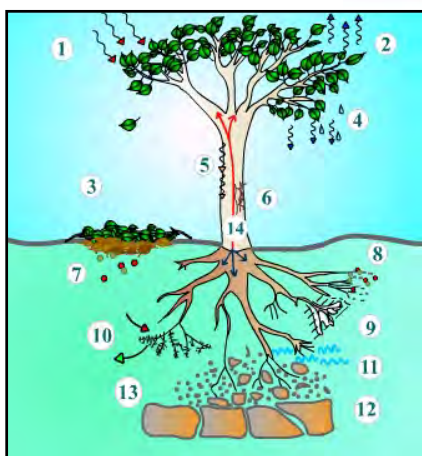




Synthèse et bilan de l'opération AD101 du PADEF

LES SYSTEMES DE CULTURE AVEC COUVERTURE VEGETALE POUR LES HAUTS DE LA REUNION



Février 2003



CHABANNE ANDRE
CIRAD/CA - GEC
Station des Colimaçons

Avant-propos

Ce travail fait suite à celui de Roger Michellon et a été conduit avec l'appui technique permanent de Lucien Séguy que je remercie vivement. L'ensemble de cet énorme travail a été capitalisé sous forme de nombreux documents qu'on trouvera dans la liste bibliographique associée. Il a été conduit avec l'aide de toute l'équipe du Cirad-Colimaçons, y compris l'ensemble des stagiaires accueillis. Qu'elle en soit aussi remerciée ici et plus particulièrement Patrick Técher.

Les expérimentations ont été menées sur les cultures les plus importantes des Hauts de l'Ouest, le géranium, mais aussi sur celles qui constituent l'enjeu de la diversification agricole : maraîchage, pomme de terre, artichaut, vergers ... Pour tenir compte des particularités des petits agriculteurs, les essais sur ces nouvelles techniques ont particulièrement pris en compte des phénomènes de concurrence entre les plantes de couverture et des différentes cultures, l'enjeu agronomique, mais aussi les enjeux économiques des producteurs : temps de travaux et leur pénibilité, produire mieux et nourrir leurs petits élevages, conserver la fertilité de leurs terrains pour leurs enfants.

Plus récemment, les activités ont eu pour objectif d'élargir la gamme des systèmes proposés notamment en terme de technicité requise. En effet, si les systèmes de culture avec couverture végétale permanente offrent des solutions satisfaisantes en matière de productivité socio-économique et de protection de l'environnement, ils requièrent cependant une gestion optimale des associations entre les plantes cultivées et les couvertures végétales. C'est pourquoi, les efforts ont été portés vers des systèmes moins exigeants et présentant cependant une efficacité intéressante en matière de gestion de la fertilité des sols et de protection de l'environnement. De plus, la recherche Systèmes s'est enrichie d'un apport disciplinaire de première importance: la biologie des sols, moteur d'un sol vivant. C'est par les travaux de Johnny Boyer, portant notamment sur la macrofaune et la microflore du sol, que les critères de durabilité des systèmes proposés ont été précisés. Ils seront décrits plus précisément dans un autre document.

Je remercie aussi l'ensemble des partenaires associés avec qui un dialogue constant a été maintenu. Ce dialogue a été soutenu et profitable grâce aux initiatives d'agents du développement, en premier lieu de l'APR. Ce sont eux qui ont su orienter les recherches sur la mise au point de systèmes de culture intéressants particulièrement les agriculteurs volontaires.

De plus, le partenariat a été ouvert à d'autres régions de l'île notamment par la participation à la construction du réseau local "Agriculture Durable" constitué par le CIVAM.

On notera de même, les efforts apportés à la formation de jeunes lycéens et étudiants, cadres et techniciens réunionnais.

Enfin, une dynamique régionale Océan-Indien a vu le jour sous forme du réseau Agriculture Durable Océan Indien (RADOI), représenté localement par le CIVAM. L'implication dans cette dynamique a été très forte.

Ce document ne constitue pas "une bible" des SCV pour la Réunion mais se veut le chemin directeur explicatif des actions conduites et des enjeux concernés. Il fait une synthèse méthodologique et technique de l'ensemble des activités. Pour de plus amples informations, chaque point abordé renvoie à la bibliographie correspondante, riche de 84 références. On trouvera en annexes, quelques-uns des documents les plus récents ainsi que des planches photographiques d'illustration.

Je renouvelle ici mes vifs remerciements à l'ensemble des partenaires techniques et institutionnels avec qui mon travail a été source d'enrichissement permanent, y compris sur le plan social et culturel.

SOMMAIRE

<u>1. LE CONTEXTE DES HAUTS DE L'OUEST – ETAT DES LIEUX ET ENJEU</u>	1
1.1. UNE AGRICULTURE EN EVOLUTION.....	1
1.2. LES PRODUCTIONS.....	1
1.3. DE FORTES CONTRAINTES NATURELLES.....	2
1.3.1. Le climat.....	2
1.3.2. Les sols.....	2
1.4. LES CONTRAINTES SOCIO-ECONOMIQUES.....	3
1.5. LES ENJEUX.....	3
<u>2. LA PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE</u>	4
<u>3. UNE DEMARCHE ASCENDANTE AU SERVICE DES AGRICULTEURS</u>	4
<u>4. DEUX EXEMPLES DE PARTENARIAT DANS LES HAUTS DE L'OUEST</u>	7
4.1. ACTIONS CONDUITES A TROIS-BASSINS ET LA CHALOUBE.....	7
4.2. LES ACTIVITES CONDUITES DANS LES HAUTS DU GUILLAUME...	8
<u>5. LES SYSTEMES DE CULTURE AVEC COUVERTURE VEGETALE</u>	12
5.1. UN CONSTAT D'ECHEC.....	12
5.2. LES SCV.....]	13
5.3. LES POMPES BIOLOGIQUES.....	16
5.4. UNE STRUCTURE.....	17
5.5. L'ENHERBEMENT.....	19
5.6. DES SYSTEMES.....	20
5.7. UTILISATIONS FOURRAGERES.....	23
5.8. CONCLUSION.....	26
<u>6. LES SCV DANS LES HAUTS DE LA REUNION</u>	26
6.1. LES SYSTEMES SUR RESIDUS DE RECOLTE ET ADVENTICES.....	27
6.2. LES SYSTEMES AVEC RECHARGE EN BIOMASSE.....	27
6.3. LES SYSTEMES AVEC COUVERTURE VEGETALE PERENNE.....	28
6.3.1. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture de kikuyu.	29
6.3.2. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture de lotier...	29
6.3.3. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture d'arachide pérenne.....	30
6.3.4. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture de trèfle du kenya.....	30
6.3.5. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture de Desmodium.....	31
6.3.6. Techniques d'inoculation et d'enrobage des semences de légumineuses.....	31
6.4. LES SYSTEMES DE CULTURE MIXTES.....	31
6.5. NOTE SUR LA TECHNIQUE DE L'ECOBUAGE.....	31
6.6. NOTE SUR L'EMBOCAGEMENT DES PARCELLES.....	33
6.7. NOTE SUR LE MATERIEL DE SEMIS DIRECT.....	33
6.8. LES FOURNISSEURS DE PRODUITS ET MATERIEL.....	33
6.8.1. Semences de plantes de couverture.....	33
6.8.2. Semences de plantes de couverture tempérées (pour les zones d'altitude ou en contre-saison).....	35

6.8.3. Matériel de semis direct.....	35
6.8.4. Batteuses – décortiqueuses.....	36
6.8.5. Produits phytosanitaires.....	36
6.8.6. Appareils ulv (Ultra bas volume).....	37
6.8.7. Fournitures d'expérimentation (Attaches, protections, étiquetage, outillage, conteneurs, supports, substrats.....)	37
<u>7. LES EFFETS MESURES DES SCV</u>	38
7.1. PERFORMANCES TECHNIQUES DES SCV.....	38
7.2. LUTTE CONTRE L'EROSION.....	40
7.3. CONSERVATION DE L'EAU.....	40
7.4. RESTAURATION DE LA FERTILITE DES SOLS.....	40
7.5. MODIFICATION DE LA FAUNE PREDATRICE.....	41
7.6. EVOLUTION DE LA FLORE ET MAITRISE DE LA COUVERTURE VEGETALE.....	41
<u>8. L'EXTENSION A D'AUTRES ECOLOGIES ET PARTENARIATS</u>	42
<u>9. LA FORMATION ET LA COMMUNICATION</u>	43
<u>10. UN RESEAU REGIONAL AGRICULTURE DURABLE OCEAN INDIEN</u>	44
<u>11. CONCLUSION</u>	47
<u>11. DOCUMENTATION CIRAD/COLIMACONS</u>	48
<u>12. BIBLIOGRAPHIE EXTERNE</u>	55

ANNEXES

Pages

- II:** CHABANNE A., MICHELLON R., SEGUY L., TECHER P., 1999. La conception de systèmes agricoles durables à base de semis direct dans des couvertures végétales pour les Hauts de l'Ouest à la Réunion. In : Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Montpellier, France, CIRAD, p.239-248. Atelier International sur la Gestion Agrobiologique des Sols et Systèmes de Culture, 1998/03/23-28, Antsirabe, Madagascar. Colloques / CIRAD
- XVII:** CHABANNE A., BOYER J., MICHELLON R., SEGUY L., 2001. Impacts des couvertures végétales sur la production de *Pelargonium x Asperum* et sur la biologie du sol (macrofaune) à l'Ile de La Réunion (Département Outre-Mer français). In : I World congress on conservation agriculture, Madrid, Spain, 1-05 October 2001. s.l., France, s.n., 4 p. World Congress On Conservation Agriculture. 1, 2001/10/01-05, Madrid, Espagne.
- XXII:** BOYER J. ; CHABANNE A. ; SEGUY L. – 2001. Impact of cultivation practices with plant cover on soil macrofauna in Réunion (France). In : I World congress on conservation agriculture, Madrid, Spain, 1-05 October 2001. s.l., France, s.n., 4 p. World Congress On Conservation Agriculture. 1, 2001/10/01-05, Madrid, Espagne.
- XXVI:** EVENO M.E., CHABANNE A., 2001. Les effets allélopathiques de l'avoine (*Avena sativa*) sur différentes mauvaises herbes et plantes cultivées. In : Dix-huitième conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 5-6-7- décembre 2001, Toulouse, France. Paris, France, AFPP, p. 1169-1176. Conférence du COLUMA : Journées Internationales sur la Lutte Contre les Mauvaises Herbes. 18, 2001/12/05-07, Toulouse, France. AFPP Annales
- XXXIV:** Planches photographiques

LE CONTEXTE DES HAUTS DE L'OUEST - ETAT DES LIEUX ET ENJEUX

1.1. UNE AGRICULTURE EN EVOLUTION

Les Hauts de l'Ouest de l'île de la Réunion couvraient en 1989 une surface agricole utile d'environ 7000 ha (12 % du total) et rassemblaient près de 2000 exploitations. Cette zone est reconnue comme prioritaire dans le cadre du Schéma d'Aménagement Régional. Elle est notamment confrontée à l'exode de la population vers les Bas et connaît un taux de chômage très élevé (47 %). En aménageant l'espace, en maintenant la population, en instituant une identité à la zone et en générant une activité économique, l'agriculture reste le pivot de la zone (20 % des emplois). Cependant, elle se heurte à de nombreuses contraintes tant historiques qu'économiques ou morpho-pédo-climatiques qui freinent son dynamisme [VI].

Pour conforter leurs exploitations et atteindre leurs objectifs, les agriculteurs s'orientent souvent vers la diversification. Elle consiste à l'abandon partiel ou total des deux cultures de rente traditionnelles que sont le géranium et la canne à sucre. Elle englobe les productions vivrières et horticoles au sens large (fleurs, fruits, légumes) et l'élevage. La diversification animale repose le plus souvent sur des filières organisées et soutenues (bovins, poulets, porcs). La diversification végétale apparaît encore "marginale" ou hésitante, risquée, le plus souvent mal comprise par les acteurs extérieurs, et parfois perçue comme concurrente de la première production de la zone : la canne à sucre [VI].

Malgré les incertitudes qui caractérisent les activités agricoles dans l'ensemble des Hauts de l'Ouest, des enjeux importants les sous-tendent : le maintien de l'emploi et l'aménagement de l'espace. La diversification horticole associée au petit élevage et la canne à sucre semblent constituer les systèmes les plus durables capables de répondre à ces enjeux. Ils nécessitent cependant un désenclavement et l'organisation des marchés, une meilleure technicité et gestion des ressources naturelles, la restauration et le maintien de la fertilité des sols associés à une lutte antiérosive, ainsi que l'implication des filières[I].

1.2. LES PRODUCTIONS

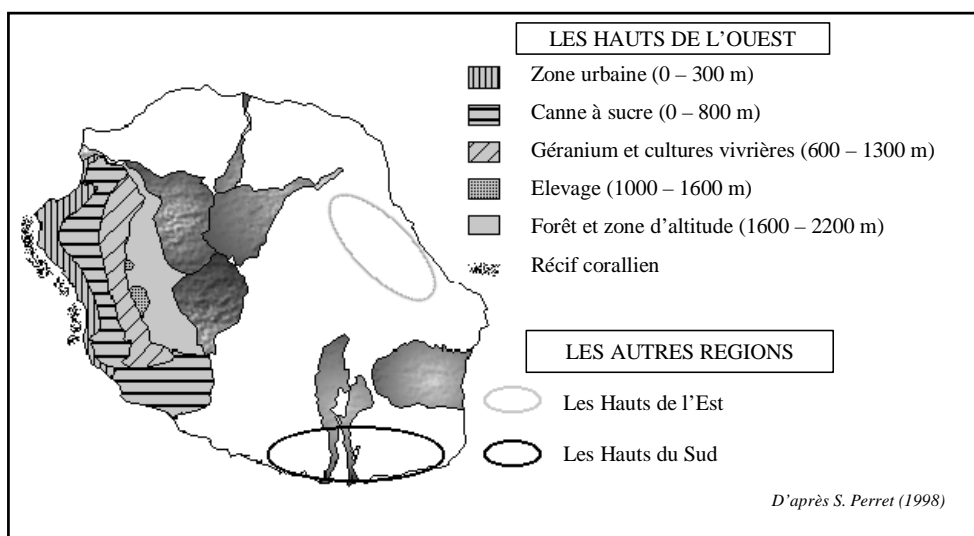
Conséquence du contexte physique et des politiques de développement, les productions agricoles suivent une stratification altitudinale (Figure 1). De 400 m à 900 m s'étend la canne à sucre. Le géranium et la polyculture-élevage prédominent entre 800 m et 1200 m. L'élevage bovin initialement au dessus de 1200 m s'étend aujourd'hui dans les zones plus basses. Les productions maraîchères s'observent de 700 m à 1200 m.

Depuis la fin du XIX^{ème} 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 de l'économie de l'île a entraîné une mutation profonde des systèmes de culture à base de géranium. La culture itinérante traditionnelle s'est progressivement sédentarisée. L'abandon de la jachère, qui assurait la restauration de la fertilité depuis un demi-siècle, a entraîné, en l'absence de changement notable d'itinéraire technique, une forte baisse des rendements, accompagnée d'une prolifération des adventices et maladies [47].

Le haricot, le maïs, la pomme de terre et la tomate sont alors devenus les productions dominantes de la zone. Elles bénéficient souvent d'une relative technicité et du savoir-faire des producteurs, malgré la faiblesse des niveaux d'intrants et le risque climatique. Une grande variété de productions côtoie ces cultures : solanées (piment, aubergine...), cucurbitacées (citrouille, concombre, christophine...), de crucifères (chou, chou-fleur) et composées (artichaut, laitue).

La floriculture semble attirer de nouveaux agriculteurs. L'arboriculture fruitière présente une grande variété avec des productions intensives (fraise, ananas) ou extensives (agrumes, pêches, bananiers, goyaviers).

Figure 1: Carte synthétique des productions agricoles



1.3. DE FORTES CONTRAINTES NATURELLES

Le climat

La Réunion est soumise à un climat tropical austral à deux saisons tranchées :

- une saison chaude et humide de décembre à avril inclus, influencée par les courants de mousson du nord-est. Pendant cette période, ce sont les dépressions tropicales, dont certaines évoluent en cyclones, qui sont responsables de la plus grande partie du total pluviométrique et conditionnent la grande variabilité inter-annuelle observée.
- une saison fraîche et sèche de mai à novembre. Les pluies présentent alors une certaine constance inter-annuelle, car elles sont de nature orogénique. L'humidité des alizés (Est-Sud-Est) se condense sur la masse nuageuse de l'île.

La Réunion détient de nombreux records mondiaux en matière de précipitations, en quantité et en intensité. Lors de ces très fortes pluies, une grande partie de l'eau ne s'infiltre pas, ruisselle en surface et entraîne des particules de terre. C'est l'érosion pluviale qui provoque des dégâts importants :

- dans l'écosystème récifal, par des apports de terre qui envasent le lagon,
- sur les infrastructures (routes et habitations) détériorées par les coulées boueuses,
- et surtout sur les parcelles agricoles.
-

Les sols

Les coulées de lave de la phase IV du Piton des Neiges sont recouvertes d'un manteau cendré récent. C'est l'évolution progressive des cendres en fonction du climat qui conditionne la répartition altitudinale des différents sols de la zone [73], [VII]. Les hauts de l'Ouest se situent sur des andosols désaturés perhydratés chromiques sur cendres, ou des sols bruns andiques. Quelques caractéristiques générales de ces andosols peuvent être soulignées [XIII]:

- sols épais non pierreux,
- horizon cultural mince assez bien structuré,

- horizon d'altération B massif et microporeux, occasionnant des difficultés de pénétration racinaire et présentant une faible conductivité hydraulique,
- très forte sensibilité à l'érosion (faible perméabilité, pente souvent forte de 10 % à 20 % en moyenne, microgranulation hydrophobe en surface),
- moyennement acides à acides,
- fertilité relativement faible pour les andosols (blocage du phosphore), intéressante pour les sols bruns andiques.

Les pertes en terre dues à l'érosion sont en moyenne de 20 tonnes (ha/an) mais elles peuvent atteindre de 50 à 200 tonnes selon les conditions pluviométriques [II], [XII], [70]. C'est pourquoi, la lutte contre ce fléau est reconnue comme une priorité par les collectivités locales. Les agriculteurs sont conscients des dégâts occasionnés à leurs sols et sont de plus en plus réceptifs aux solutions qui leur sont proposées, quand celles-ci sont compatibles avec leurs systèmes de culture, leurs contraintes et leurs stratégies.

1.4. LES CONTRAINTES SOCIO-ECONOMIQUES

Outre les contraintes naturelles, les conditions sociales et culturelles, les équipements insuffisants, l'enclavement, le niveau de formation et l'âge des exploitants [31], les statuts fonciers constituent souvent des handicaps spécifiques. Ainsi, si certaines zones sont insérées dans des dynamiques de filières, les secteurs de polyculture et petit élevage sont très hétérogènes et subissent actuellement de fortes mutations.

Enfin, la trésorerie de certains exploitants est très limitée, ce qui handicape fortement leur marge de manœuvre. Les revenus agricoles sont souvent faibles et minoritaires dans le revenu familial (transferts sociaux, économie parallèle) [VI].

Malgré les efforts soutenus par une volonté institutionnelle, des éléments préjudiciables affectent encore les Hauts et plus particulièrement les hauts de l'Ouest. On pourra noter notamment leur isolement et manque de moyens financiers pour leurs habitants, l'insuffisance de formation... d'où une volonté institutionnelle de "rééquilibrage" dont la déclinaison opérationnelle a été affinée "chemin faisant" et en fonction des évolutions du contexte socio-économique ou environnemental à la fois à l'échelle de l'île et dans une approche globale : besoin d'un tissu rural dynamique intégrant l'agriculture, fort taux de chômage (40 %), début de délinquance, développement du tourisme, image encore souvent négative de l'agriculture, nouvelles directives en matière de développement durable...

1.5. LES ENJEUX

Durant 10 ans et jusqu'en 1990, le Plan d'Aménagement des Hauts a généré un grand nombre d'outils et de réalisations dans de très nombreux domaines:

- Equipement, habitat et cadre de vie,
- Animation et formation des populations rurales,
- Aménagements fonciers, lutte contre l'érosion et amélioration de la gestion des ressources en eau,
- Mise en valeur de la forêt publique et soutien à la forêt privée,
- Soutien à l'agriculture,
- Soutien au commerce, à l'artisanat et au tourisme.

Cependant, et plus particulièrement dans les Hauts de l'Ouest, la dernière décennie a donné lieu à une volonté politique de:

- Désenclaver les Hauts,
- Parachever leur mise en valeur par:
 - la poursuite de la mise en valeur agricole et forestière, le désenclavement rural et la récupération de terres incultes, la mobilisation des ressources en eau, le

- Protéger les espaces naturels (lutte contre l'érosion, protection des forêts primaires, protection de la biodiversité, protection des lagons contre les apports terrigènes et de xénobiotiques...),
- Réaliser la mise en valeur touristique.
- Améliorer la qualité des produits et pratiques et promouvoir l'innovation.
-

LA PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE

Les effets néfastes engendrés par la monoculture de rente du géranium et leurs conséquences sur l'exode rural ont conduit à la mise en place du Plan d'Aménagement des Hauts (1983). L'intervention de la recherche agronomique s'inscrit dans le cadre des orientations définies. Ses objectifs comportent en effet :

- le développement agricole de la zone, grâce à la confortation des productions traditionnelles et à une diversification des cultures destinées au marché local (vivrières, maraîchères, élevages);
- la protection de l'environnement et, en particulier la défense et la restauration des sols.

Pour apporter des solutions compatibles avec les pratiques et les contraintes des agriculteurs, une démarche de recherche appliquée originale a été mise en œuvre. Des systèmes de production diversifiés, élaborés avec les agriculteurs, les formateurs et les techniciens agricoles ont pu être proposés pour stabiliser les exploitations et améliorer les revenus :

- lorsque la surface est limitée et la main d'œuvre abondante, les cultures associées et intercalaires permettent d'augmenter la productivité de la terre et du travail, de la régulariser, tout en restant compatible avec la pluriactivité.
- lorsque le foncier est moins limitant, la rotation des cultures vivrières ou maraîchères avec le géranium, conduit à une agriculture productive et diversifiée [45], [46].

Mais la culture continue en sol nu de plantes sarclées aboutit à la dégradation et au décapage de l'horizon humifère présent après la jachère arborée. Cette dégradation se traduit par une baisse des rendements et de l'état sanitaire des cultures, malgré un accroissement des intrants : fumier (facteur limitant principal), herbicides... De plus, les impacts environnementaux (utilisation de matières actives polluantes, forte érosion, diminution de l'activité biologique des sols...) et socio-économiques sont incompatibles avec les objectifs et enjeux définis au niveau du Plan d'Aménagement des Hauts.

Les enjeux de la recherche sont donc bien présentés sous forme de confrontation entre les grands axes de développement des Hauts et le cas, particulier (mais important), de l'agriculture. Il s'agit donc bien d'une action de recherche au service de l'agriculture en voie d'intégration dans un contexte socio-économique en pleine mutation. Pour ce faire, une démarche pluridisciplinaire et pluri-institutionnelle a été développée.

UNE DEMARCHE ASCENDANTE AU SERVICE DES AGRICULTEURS

L'expérimentation en milieu semi-contrôlé ne peut prendre en compte ni l'ensemble des contraintes et des spécificités inhérentes à un système d'exploitation (niveau de main-d'œuvre familiale, ressources extérieures...) ni la variabilité du milieu. L'analyse des facteurs agronomiques et sociaux doit être réalisée au sein de groupes d'agriculteurs représentatifs, grâce à une action concertée de la recherche et du développement.

Le suivi des systèmes de culture ou d'exploitation répond à plusieurs objectifs:

- Obtenir des références techniques et économiques en milieu réel et mettre au point des systèmes de production susceptibles d'être proposés à l'ensemble des agriculteurs,
- Dégager des paramètres de prise de décision et élaborer des outils pédagogiques sur lesquels peuvent s'appuyer les services de développement,
- Tester dans le cadre d'exploitations caractéristiques les innovations susceptibles d'améliorer le résultat global du système et analyser leurs modalités d'intégration et de transformation éventuelle par les agriculteurs.

Les techniques spécifiques les mieux adaptées, présentant la plus grande souplesse d'utilisation, et modifiées par l'exploitant lui-même lors de leur adoption, peuvent alors être diffusées.

Les thèmes de développement deviennent alors modulables en fonction des systèmes d'exploitation et ne sont plus limités à une seule catégorie d'agriculteurs.

Cette démarche nécessite une collaboration étroite entre les agriculteurs (ou groupes d'agriculteurs), les formateurs-vulgarisateurs et les chercheurs. L'intérêt d'une réelle collaboration pressenti par chacun des partenaires est indéniable:

- Appropriation directe de l'innovation par l'agriculteur en fonction d'un choix raisonné,
- Utilisation de l'essai ou du test comme support pédagogique ou point de démonstration par le formateur-vulgarisateur,
- Elaboration d'un référentiel technique et de propositions cohérentes avec le milieu pour le chercheur.

Cette démarche permet aussi d'intégrer le savoir-faire des agriculteurs et leurs connaissances empiriques. Et elle permet de hiérarchiser rapidement les facteurs qui conditionnent le rendement, les résultats technico-économiques et les problèmes à résoudre en priorité par l'équipe pluridisciplinaire en fonction des zones pédoclimatiques ou des systèmes d'exploitation.

Mais, pour qu'une telle démarche ascendante soit réellement opérationnelle, le formateur-vulgarisateur et l'agriculteur doivent être associés pleinement au processus d'expérimentation. Une concertation est nécessaire: la fixation d'un calendrier de suivi et des éléments à observer en commun à tous les stades de la culture apparaît souhaitable dès la mise en place de l'essai. Et, il est impératif de conserver dans chacun des dispositifs l'itinéraire technique suivi antérieurement par l'agriculteur, afin d'évaluer l'intérêt réel des facteurs étudiés, et éventuellement de le dédommager en cas de perte importante. La participation aux observations doit se poursuivre jusqu'à la discussion des résultats obtenus.

La répartition de la prise en charge du risque ne constitue pas le seul élément à considérer dans l'établissement du budget d'opération. Il doit aussi inclure les intrants non encore accessibles à l'agriculteur ainsi que la main d'œuvre supplémentaire nécessaire lors de l'implantation et pour la quantification des résultats (mesures de parcelles, pesées...).

Le tableau 1 résume l'intérêt pour chacun des partenaires d'une réelle collaboration dans la mise en œuvre commune d'essais ou de tests [43].

Tableau 1: l'intérêt pour chacun des partenaires d'une réelle collaboration dans la mise en œuvre commune d'essais ou de tests

Partenaires de la collaboration	Agriculteur ou groupe d'agriculteurs	Formateur-vulgarisateur	Chercheur
Intérêt au niveau personnel	<p>Suivi technique avec conseils sur la culture étudiée et au niveau de son système d'exploitation</p> <p>Appropriation de l'innovation en fonction d'un choix raisonné</p> <p>Valorisation de la profession d'agriculteur</p>	<p>Actualisation des connaissances techniques et de la formation pour les résultats de recherche et les systèmes de culture rencontrés</p> <p>Utilisation des essais comme support pédagogique ou démonstration</p> <p>Elaboration d'un référentiel technique et de propositions en phase avec le milieu réel. Analyse des modalités d'appropriation des innovations et de leurs transformations éventuelles par les agriculteurs</p>	<p>Acquisition des connaissances et du savoir-faire:</p> <p>Appréhension du suivi et de la mise en œuvre des techniques traditionnelles</p> <p>Meilleure connaissance des itinéraires techniques et systèmes de culture pratiqués, des contraintes et facteurs favorables rencontrés dans l'exploitation</p> <p>Démultiplication des essais permettant de mieux intégrer la variabilité du milieu</p> <p>Augmentation quantitative et qualitative des observations effectuées</p>
Intérêt au niveau du groupe ou de l'institution	<p>Création de réseaux d'entraide formelle et informelle</p> <p>Appropriation de l'innovation par le réseau d'exploitants en relation avec l'agriculteur</p>	<p>Constitution de groupes d'exploitants, supports d'activités ultérieures de formation et de développement</p> <p>Définition de paramètres de prise de décision et élaboration d'outils pédagogiques</p> <p>Définition de systèmes de production susceptibles d'être proposés à l'ensemble des agriculteurs ou à certains types d'exploitants</p>	<p>Hiérarchisation des facteurs conditionnant les résultats technico-économiques et des problèmes à résoudre par une équipe pluridisciplinaire avec des priorités selon les zones et les systèmes d'exploitation</p>

Après une phase de diagnostic, la comparaison des itinéraires techniques jugés compatibles avec les contraintes et les facteurs favorables des différents types d'exploitation conduit à mettre en évidence des problèmes, ou des blocages, nécessitant la mise en œuvre de nouvelles études prioritaires. Ce diagnostic intervient à deux niveaux. D'une part, il convient d'analyser les problématiques générales du contexte physique, biologique et humain. D'autre part, il convient d'adopter une démarche individuelle avec les agriculteurs. Ce n'est donc pas un simple diagnostic mais une démarche permettant l'expression des préoccupations conduisant à la formulation d'objectifs qui vont évoluer au fur et à mesure des résultats.

Ces études sont réalisées en milieu réel en deux phases indissociables. La première destinée à comprendre les phénomènes et à élaborer des solutions, constitue un outil privilégié de formation des agriculteurs. La seconde permet l'analyse des modalités d'appropriation des innovations en collaboration étroite avec les formateurs-vulgarisateurs et agriculteurs.

Une telle démarche ascendante conduit à instaurer un réel dialogue entre les partenaires et à un diagnostic permanent du chercheur. Elle permet ainsi une plus grande efficacité des activités de recherche et une meilleure adéquation des innovations aux besoins des agriculteurs.

En ce qui concerne la formation, elle est initiée dès le début des processus. Elle permet l'expression des préoccupations et la réalisation du diagnostic. Elle aide à définir un protocole et un contrat entre l'agriculteur et les partenaires. D'une manière générale, elle conforte l'idée d'une démarche (active et rigoureuse de la part de l'agriculteur) qui entraînera la mobilisation de moyens de formation, recherche et aménagement. Elle joue un rôle central d'animation et de médiation. Les autres partenaires sont alors mobilisés en fonction des questions et opportunités.

Pour la diffusion, elle commence dès la création de l'innovation pendant l'action de recherche, d'où l'intérêt effectif de pouvoir proposer un retour aux questions qui apparaissent. Plus cette phase se déroule avec succès, plus la diffusion se fera vite et bien avec les agriculteurs. Il est important que les partenaires du développement aient participé à cette action de recherche afin d'en maîtriser les techniques et de répondre efficacement à la demande des agriculteurs.

Pour une diffusion plus large, des visites et différents supports médiatiques ont été réalisés. Le réseau multilocal d'essais constitue alors une véritable "école au champ".

DEUX EXEMPLES DE PARTENARIAT DANS LES HAUTS DE L'OUEST

4.1. ACTIONS CONDUITES A TROIS-BASSINS ET LA CHALOUPE

Il convient de rappeler la collaboration étroite entre l'APR (Association pour la Promotion en milieu Rural), le SUAD (Service d'Utilité Agricole et du développement) et le CIRAD, qui, à travers un réseau de fermes de références, a permis, après un diagnostic simple mais pertinent, d'élaborer conjointement un grand nombre de systèmes de cultures assurant la promotion de la culture du géranium tout en assurant la diversification souhaitée. La gamme de systèmes proposés reposait sur différents niveaux de technicité requise. Et les résultats obtenus, tant sur le plan technico-économique que environnemental (résumés par la suite), ont permis d'étoffer les mesures d'accompagnement du développement des Hauts, OLAT (Opération Locale d'Aménagement de terroir) et OGAF (Opération Groupée d'Amélioration Foncière).

Outre les actions conduites dans ce réseau de fermes de référence, un dispositif particulier a été installé en milieu réel. La maîtrise de systèmes de culture diversifiés avec travail minimum et couverture du sol nécessitait que les études des solutions proposées soient compatibles avec les pratiques et les contraintes des agriculteurs. Pour cela, elles devaient être mises au point en milieu réel sur des unités de paysage représentatives [XV]. Les expérimentations ont été

conduites vers les 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 [47].

L'évaluation agrotechnique et économique rigoureuse des propositions par rapport aux techniques traditionnelles a été réalisée sur des dispositifs pérennisés, en milieu paysan, sur un intervalle de temps suffisant pour prendre en compte la variabilité climatique et socio-économique ainsi que l'évolution de la fertilité des sols en fonction des systèmes. Ceux-ci ont été conduits sur des parcelles d'une superficie de 10 à 30 ares, représentatives du parcellaire à forte pente. Les problèmes rencontrés dans chaque système ont été résolus à partir d'essais thématiques permettant d'améliorer les itinéraires techniques, de proposer des solutions alternatives et d'expliquer les phénomènes observés.

Les études ont été réalisées par comparaison de systèmes de cultures intensifs conduits soit en sol nu, soit avec couverture du sol. Ils comportaient du géranium rosat en culture pure, ainsi que des productions maraîchères ou vivrières (haricot, maïs, tomate et pomme de terre), fruitières (vergers) et fourragères. Pour l'ensemble des productions, trois modes de gestion du sol ont été comparés, avec ou sans apport de matière organique : sol nu, couverture de graminée (*Kikuyu*, *Pennisetum clandestinum*) ou de légumineuse (*Lotier*, *Lotus uliginosus*). En 1997, les systèmes avec intégration d'une production de biomasse ont été intégrés au dispositif. Celle-ci a été constituée à partir de paille d'avoine et de sorgho.

Pour compléter la production fourragère des couvertures et la protection contre les aléas climatiques, un embocagement des parcelles a été 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 différents systèmes de culture ont été 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 valorisation des journées de travail.

Un suivi analytique systématique a été réalisé afin de suivre l'évolution des composantes suivantes :

- Sol: évaluation des caractéristiques physico-chimiques, fonctionnement hydrodynamique superficiel, propriétés microbiologiques;
- Adventices et faune;
- plantes de couverture: implantation et contrôle;
- Culture principale: croissance et développement, parasitisme et adventices, productivité;
- Socio-économie: temps de travaux, charges et produits, productivité de la main d'œuvre.

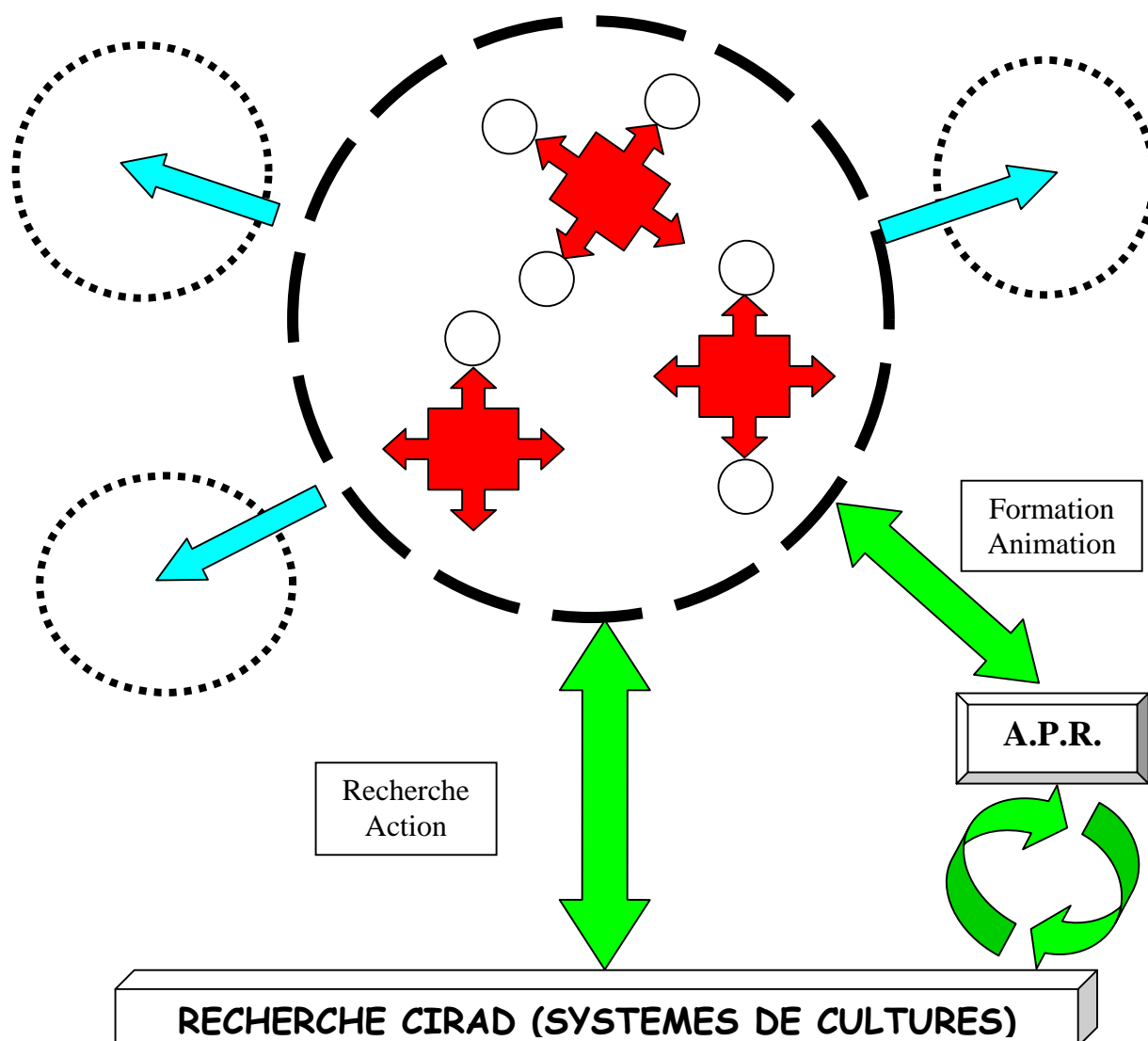
Enfin des essais thématiques ont permis de répondre à des problèmes rencontrés au niveau:

- du matériel de semis,
- du choix des espèces et variétés,
- de l'implantation des plantes de couverture,
- des interactions entre la couverture et les adventices ou les cultures,
- et de la modification des techniques culturales.

4.2. LES ACTIVITES CONDUITES DANS LES HAUTS DU GUILLAUME

La deuxième expérience, plus récente, concerne le travail de l'APR du Guillaume et du CIRAD autour de la formation apportée à un groupe d'agriculteurs de La Petite France. Principalement producteurs de géranium, l'ensemble du groupe était dans une position d'impasse technico-économique ne leur permettant pas d'assurer un revenu suffisant ni d'envisager un avenir profitable pour leurs enfants. Dans ce contexte, la protection environnementale (érosion, facteurs de pollution) ne constituait pas l'objectif prioritaire. Suite à la démarche adoptée, les agriculteurs ont créé l'Association des Planteurs Expérimentateurs (APE). La figure 2 résume les relations et modes d'intervention développés avec le groupe.

FIGURE 2 : RELATIONS ET MODES D'INTERVENTION DEVELOPPES AVEC L'A.P.E



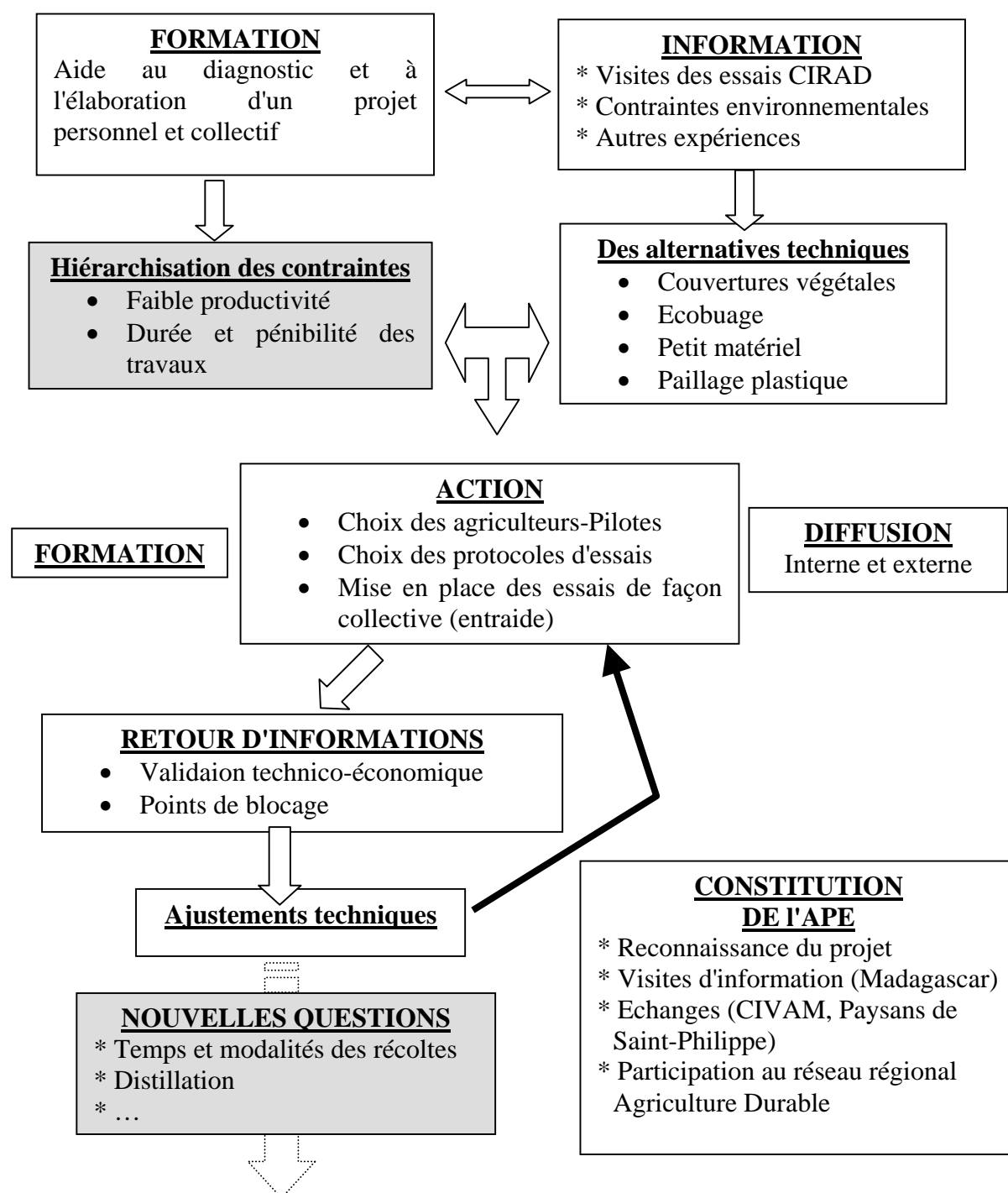
	IDENTITES	OBJETS	ACTIONS	RELATIONS
	Association des Planteurs Expérimentateurs Des Hauts de l'Ouest (A.P.E.)	Animation Formation	Echanges d'informations	Privilégiées
	Agriculteurs-Pilotes	Expérimentation Formation Diffusion	Choix des essais "Vitrine" Echanges d'informations Visites commentées (agric.)	Privilégiées
	Agriculteurs de l'A.P.E.	Validation en grandes surfaces Diffusion	Temps de travaux Résultats Socio-écon. Praticabilité Visites commentées (agric.)	Accompagnement
	Agriculteurs (hors A.P.E.) Autres Associations Techniciens	Diffusion	Echanges d'informations	Informations
	Association pour la Promotion en Milieu Rural (A.P.R.)	Méthodologie	Supports pédagogiques Financements	Privilégiées

: Diffusion interne à l'A.P.E. : Diffusion externe

Ce schéma traduit bien la démarche adoptée où, dès le début de l'opération, les agriculteurs ont été associés au processus de Création-formation-diffusion en pluripartenariat avec l'APR et le CIRAD. Après de premières entrevues sur champ et en salle ainsi que des visites sur les essais CIRAD, les discussions animées par l'APR ont permis de hiérarchiser leurs contraintes et d'identifier, parmi le groupe les agriculteurs, susceptibles de participer le plus activement à la démarche et qui seront les moteurs de la dynamique.

Dans un premier temps, les contraintes principales résidaient dans la gestion du travail (durée et pénibilité), notamment pour l'installation du géranium (bouturage) et la lutte contre l'enherbement, ainsi que dans les faibles niveaux de production obtenus du fait d'une fertilité des sols déficiente. Le cheminement qui s'en suivit est résumé par la figure 3.

Figure 3: Cheminement simplifié de la collaboration APR-Agriculteurs-CIRAD

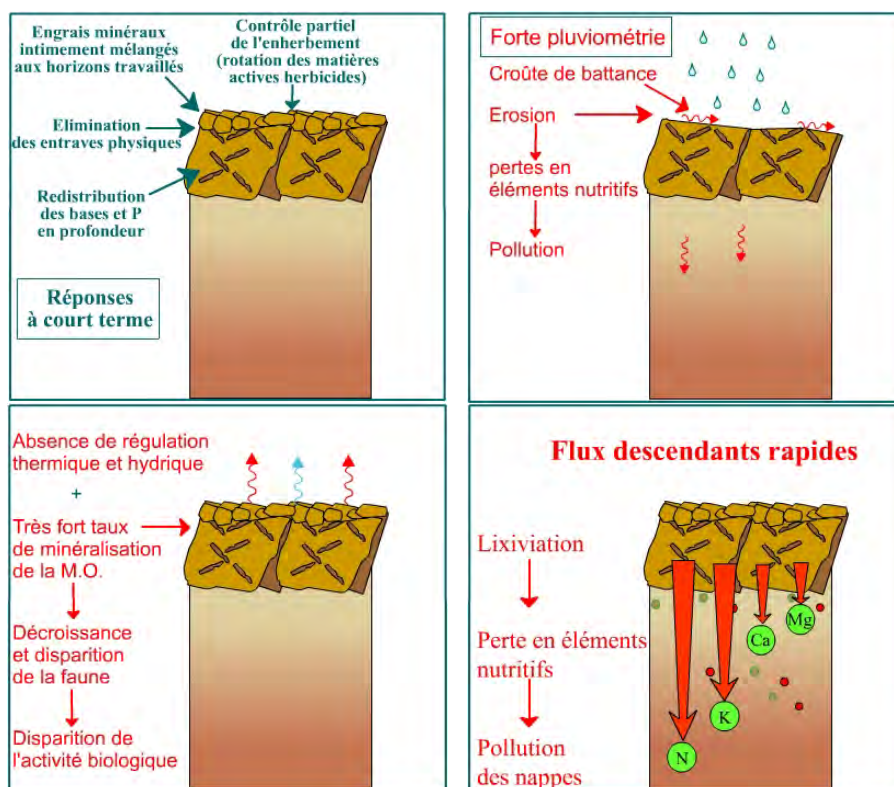


LES SYSTEMES DE CULTURE AVEC COUVERTURE VEGETALE

5.1. UN CONSTAT D'ECHEC

Depuis de nombreuses années, on a développé des systèmes de culture reposant sur une artificialisation par rapport au milieu environnant, artificialisation accompagnée d'une intensification portant sur les intrants et la mécanisation. Si ces systèmes ont permis d'apporter des réponses à court terme aux contraintes rencontrées, à moyen terme, les interactions obligatoires avec le milieu environnant n'ont pas permis d'assurer une viabilité satisfaisante (figure 4). En zone tropicale, où la pression et la fragilité de l'environnement sont plus fortes, la dégradation du milieu naturel et des systèmes cultivés a été d'autant plus rapide.

Figure 4: Les systèmes traditionnels dans une impasse



Ces systèmes bien qu'ayant répondu à des contraintes immédiates ne peuvent assurer leur viabilité. En effet, les trois fonctions essentielles pour qu'un système soit viable ne sont pas réunies.

La reproduction des différentes fonctions du système est déficiente. Rappelons qu'elle doit se faire par l'entretien, autant qu'il est possible par des moyens naturels et subsidiairement par des moyens artificiels, des différents flux des ressources nécessaires au système. L'eau s'infiltré peu dans les profils et s'évapore rapidement. De plus, la capacité en rétention en eau est faible. Les éléments minéraux sont entraînés en surface par le ruissellement et l'érosion. De plus, la lixiviation en profondeur les rend alors inaccessibles aux fonctions naturelles de régulation par migration ascendante (par les racines des plantes ou bioturbation). La matière organique disparaît rapidement. Et l'humus, patrimoine organique du sol, n'étant plus alimenté par la chaîne de décomposition des matières organiques, disparaît progressivement. Enfin, l'activité biologique est fortement réduite.

La résilience (capacité à retrouver son état initial après un choc externe écologique ou économique) n'est plus possible. Ces systèmes sont en voie de dégradation d'autant plus rapide que la régulation des flux de ressources n'est plus assurée.

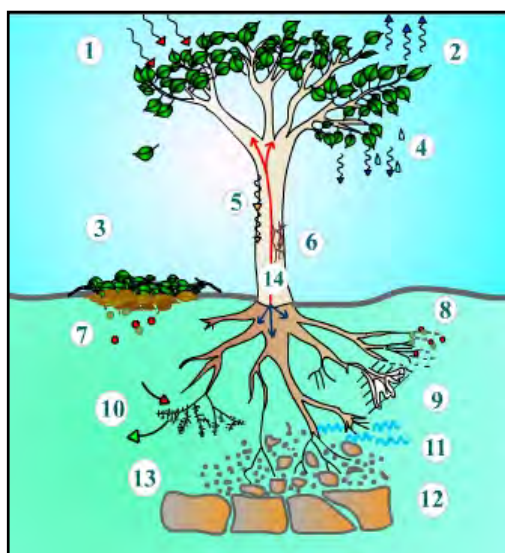
Enfin, du fait des contraintes de baisse de fertilité générale, d'invasion par les mauvaises herbes et d'augmentation de la pression phytosanitaire (maladies et ravageurs), un recours de plus en plus intense aux intrants chimiques est nécessaire mais pas suffisant et surtout nocif. Les systèmes sont donc soumis à des effets externes négatifs à fort effet toxique, notamment sur l'activité biologique du sol et le milieu environnant.

5.2. LES SCV [XV] [XVI] [X]

Les systèmes de culture avec couverture végétale reposent sur deux principes fondamentaux: le travail minimum du sol et une couverture végétale de façon quasi-permanente. Il s'agit en fait de reproduire pour l'agriculture le fonctionnement de la forêt décrite par la figure 5 et de tirer parti des fonctions de régulation que les plantes assurent dans la gestion des écosystèmes en relation avec un sol où siège une forte activité biologique.

Figure 5 : Les fonctions principales des plantes avec les processus pédologiques

- 1: Captage et transformation de l'énergie solaire
- 2: Evapotranspiration
- 3: Apports aériens de matière organique fraîche
- 4: Lixiviation de substance et égouttements
- 5: Ecoulements
- 6: Début d'humification dans l'écorce
- 7: Apports de substances minérales
- 8: Apports souterrains de matière organique fraîche
- 9: Aération du sol par les racines
- 10: Absorption et sécrétion par les radicelles
- 11: Régulation du régime hydrique du sol
- 12: Fragmentation de la roche par les racines
- 13: Altération de la roche par les sécrétions et la respiration racinaire



Dans les SCV, la couverture végétale est assurée par de la biomasse soit importée soit produite sur place. Dans cette dernière situation, s'ajoutent toutes les fonctions liées au système racinaire de ces plantes productrices de biomasse (Figure 6 et 7).

Figure 6: Les deux principes de base des SCV

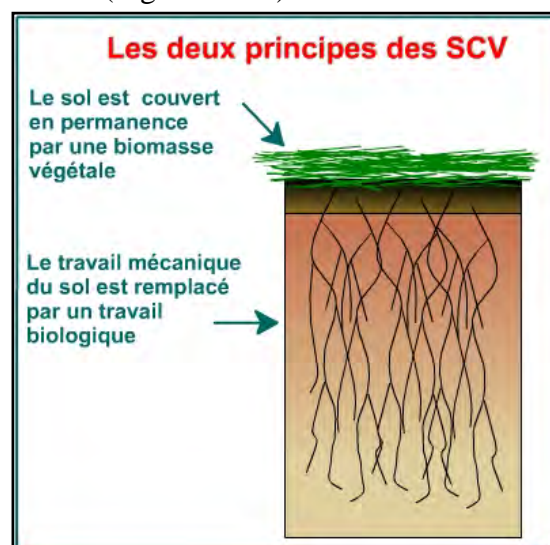
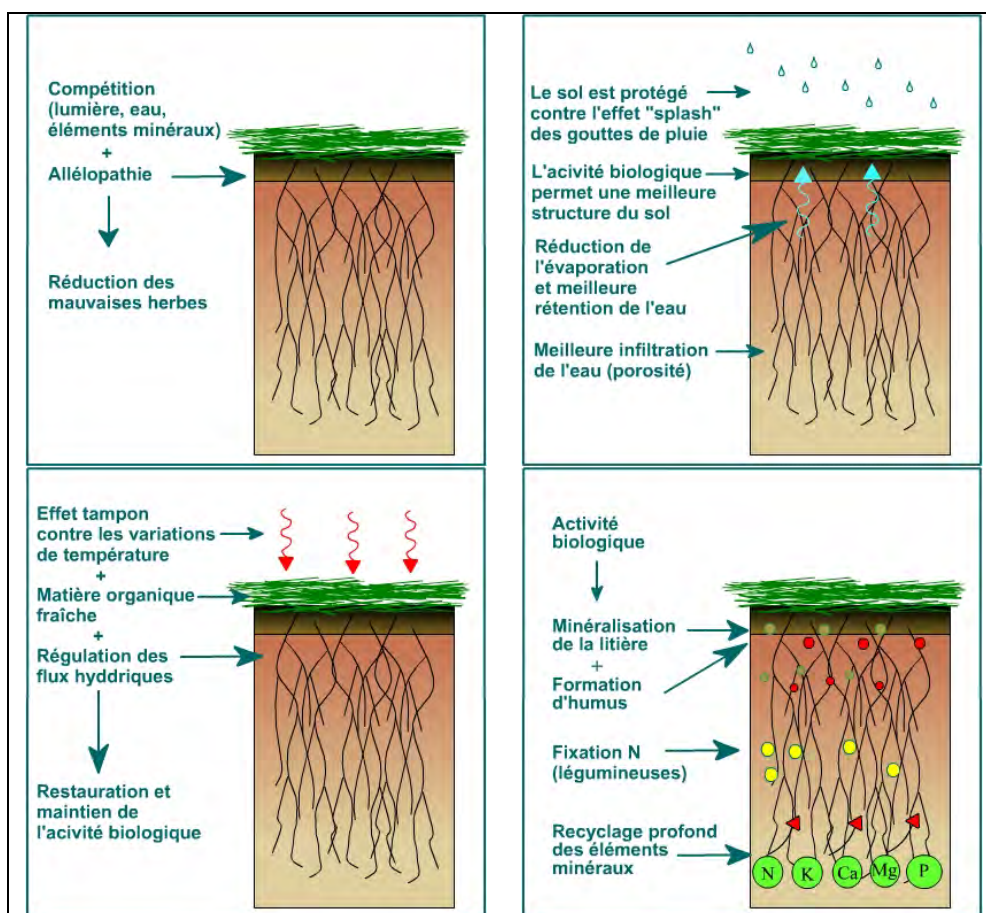


FIGURE 7: Les avantages des SCV



Parmi l'ensemble des fonctions assurées par les SCV, on retiendra:

- * La réactivation de l'activité biologique grâce aux apports en matière organique fraîche, à la régulation des flux thermiques et hydriques et à la diminution de l'utilisation d'intrants chimiques;

- * la meilleure structuration du sol par voie biologique (systèmes racinaires des plantes de couverture, activité biologique, apports en matière organique, humification);

- * La régulation des flux de ressources en eau (meilleure infiltration, diminution du ruissellement, amélioration de la capacité de rétention et réduction de l'évaporation), en matière organique (restitutions de litières aériennes et racinaires, meilleure humification), en éléments minéraux (réduction de l'érosion, amélioration de la CEC, minéralisation des litières, recyclage par les plantes de couverture et bioturbation). Cette régulation est favorisée par une activité biologique restaurée et maintenue à un niveau élevé;

- * La disparition quasi-totale de l'érosion des sols grâce à une protection physique de la surface par les couvertures et grâce à une réactivation de l'activité biologique dont certaines fonctions sont directement impliquées dans l'élaboration de la structuration du sol;

- * Enfin, la limitation des populations de mauvaises herbes grâce à la compétition des couvertures végétales (principalement une compétition au niveau de la lumière, effet "ombrage"). De plus, certaines couvertures présentent des effets allélopathiques. Dans certains cas, on observe de même une réduction des maladies et du parasitisme.

En plus de toutes les fonctions assurées et décrites précédemment, il convient de noter l'importance des systèmes de culture avec couverture végétale dans le cadre de la fixation du carbone (CO² atmosphérique) dans la biomasse produite, conservée, minéralisée et humifiée. Ils peuvent contribuer ainsi à la limitation de l'effet de serre et à la protection de

l'environnement mondial. Trop longtemps, le sol a été considéré comme une simple "boîte noire", sans distinguer de catégories de matière organique. Ces dernières présentent pourtant des comportements biochimiques très différents, réglant leur stabilité, leur dégradation et l'énergie qu'elles fournissent aux chaînes alimentaires. Une prise en compte détaillée de la matière organique du sol est ainsi indispensable à l'établissement de modèles proposant de simuler les flux et les stockages de carbone dans les compartiments de l'écosphère.

Enfin, une dernière fonction qui pourrait être assurée par les SCV en relation avec une activité biologique intense est la bioremédiation des sols: traitement d'un milieu par un processus biologique, de manière à en éliminer les substances contaminantes et toxiques. Ces études sont récentes et parcellaires mais les résultats obtenus sont encourageants.

La pollution des sols par les métaux lourds, les radio-éléments ou les substances xénobiotiques (composés organiques de synthèse souvent toxiques) est parfois considérée comme le principal risque environnemental à venir. D'innombrables substances sont actuellement piégées dans le sol, de manière plus ou moins définitive. Ces substances que l'on cherche à éliminer peuvent être d'origine agricole (pesticides, fertilisants) mais aussi des contaminants d'origine industrielle. Cette bioremédiation pourrait s'effectuer en deux situations: la rhizosphère et l'humus.

Certains auteurs ont déjà remarqué que la dégradation des composés xénobiotiques était plus rapide dans la rhizosphère par rapport au sol distant. Cette propriété s'explique par des populations plus élevées de microorganismes. De plus, la diversité des sécrétions racinaires et des métabolismes microbiens permet dans certains cas une attaque des polluants par cométabolisme. Sous certaines conditions (si les organismes sont présents et les facteurs écologiques favorables), on peut envisager de procéder à une bioremédiation des sols par la culture de plantes abritant une communauté adéquate. Les conditions de la rhizosphère favorisent souvent des bactéries, des champignons ou des protozoaires antagonistes de parasites des plantes. En modifiant la rhizosphère par des pratiques culturales ou des ajouts d'amendements, on peut stimuler cet effet protecteur.

De plus, la fixation de composés xénobiotiques dans l'humine représente aussi une bioremédiation des sols contaminés et s'oppose à la lixiviation de ces substances dans les eaux souterraines. Un certain nombre de dérivés aromatiques de phénols (parathion, oxadiazon, 2,4-D, 2,4,5-T) et d'aniline (phénylurées, phénylcarbammates, acylanilines, dinitroanilines) sont utilisés couramment comme pesticides. De manière analogue aux anilines et phénols naturels, ces composés xénobiotiques ou leurs produits de dégradation par les organismes du sol peuvent subir des réactions enzymatiques d'oxydation menant à la formation de radicaux et de quinones réactives. Ces composés s'intègrent alors par couplage oxydatif dans les molécules d'humine, de la même manière que les composés naturels. Sous cette forme, ils sont complètement inactivés et retirés des chaînes alimentaires. Dans certains cas observés, leur libération de l'humine semble être très lente et les xénobiotiques libérés sont minéralisés au fur et à mesure par les microorganismes. Les études doivent être poursuivies, avec une large gamme de substances susceptibles de parvenir dans les sols et de subir un tel cycle de fixation et de relargage. Il convient en effet de s'assurer que la fixation des composés xénobiotiques dans l'humine ne constitue pas une "bombe à retardement".

Les Systèmes de Culture avec Couverture Végétale, par le fait qu'ils restaurent et maintiennent une forte activité biologique et enzymatique, qu'ils favorisent la formation d'humine par des apports permanents en matière organique, et qu'ils assurent dans certains cas (couverture végétale pérenne) une forte densité racinaire permettraient de renforcer ce rôle d'épuration.

Les trois conditions de viabilité des systèmes sont remplies: reproduction des fonctions par la régulation des flux de ressources, résilience et évitement des effets externes négatifs.

Nous nous attarderons par la suite sur deux fonctions essentielles correspondant aux préoccupations principales de l'agronome et auxquelles est étroitement liée la résolution des

contraintes évoquées dans le chapitre "Enjeux": la fonction de régulation des flux en éléments minéraux ("la pompe recycleuse biologique") et la réduction de la pression des mauvaises herbes. De plus, nous étudierons une fonction qu'il est nécessaire de maintenir pour assurer le succès et la pérennisation du travail minimum du sol: la création et la maintenance d'une structure du sol (espace poral) favorable à toutes les cultures.

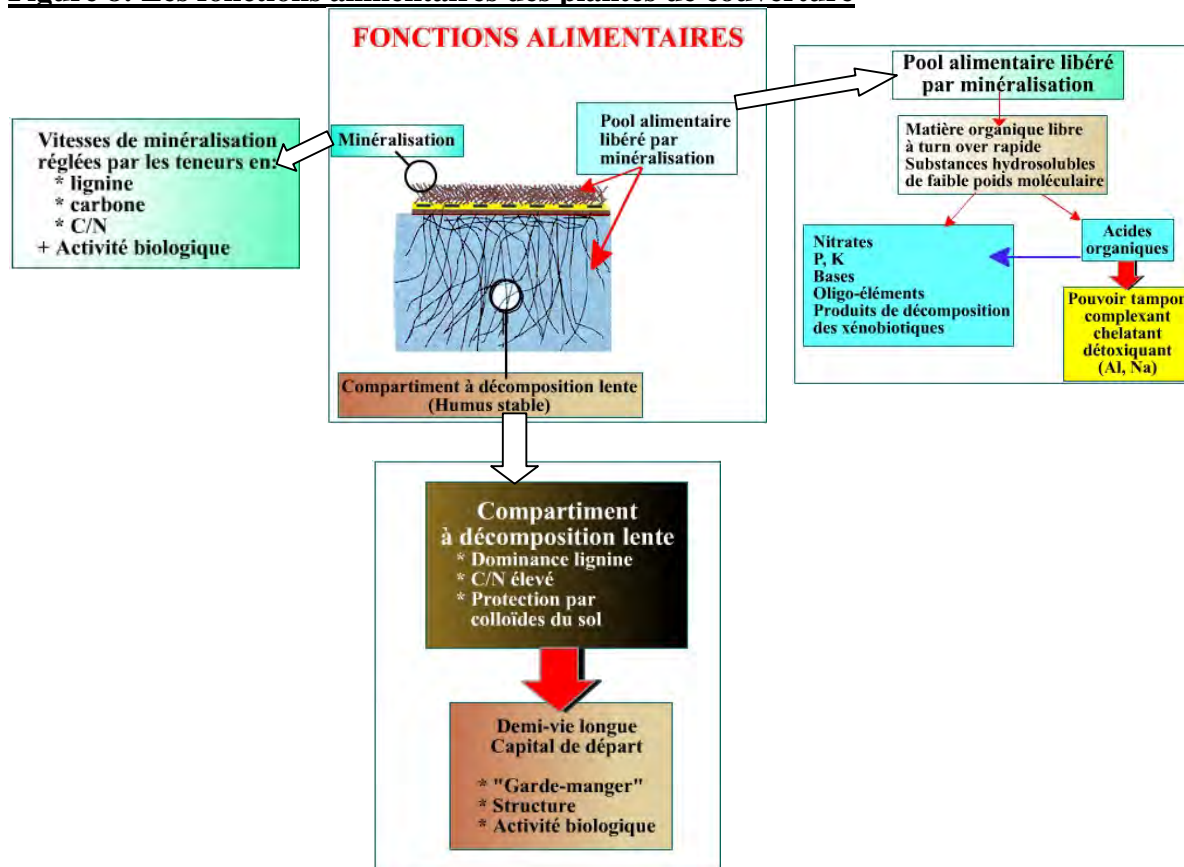
5.3. LES POMPES BIOLOGIQUES

Les couvertures végétales ont une fonction alimentaire capitale pour les plantes cultivées. Il s'agit donc de remplacer le pouvoir alimentaire du sol par celui des biomasses tout au long du cycle des cultures. Pour cela, il s'agit d'identifier les biomasses qui peuvent mobiliser des nutriments (macro- et micro-) que les plantes de culture sont incapables d'extraire du pool alimentaire du sol. Et il s'agit d'analyser le rythme de minéralisation des litières ainsi que ses conséquences sur la dynamique des ions: bases, cycles d'immobilisation-libération de N, P en fonction de la nature des couvertures.

Ce pouvoir alimentaire dépend (Figure 8):

- D'abord de la capacité de la plante de couverture à produire rapidement une très forte biomasse en conditions climatiques aléatoires (début et fin de saison des pluies);
- Ensuite, de la vitesse de minéralisation de la couverture dans les conditions pédoclimatiques locales. Cette vitesse de minéralisation est réglée par la teneur en lignine, la teneur en carbone, le rapport C/N et l'activité biologique;
- De la dynamique des ions fortement influencée par la nature des couvertures. Les acides organiques libérés ont un pouvoir neutralisant de l'acidité, un pouvoir détoxiquant (Al, Na) et interviennent dans le processus de migration des sels (NO₃, K, Ca, Mg).

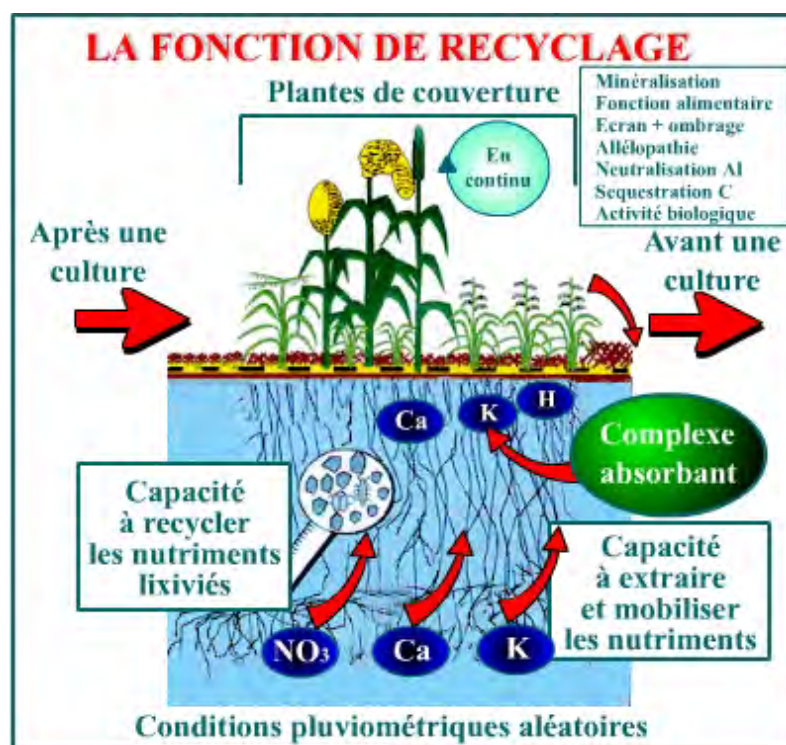
Figure 8: Les fonctions alimentaires des plantes de couverture



Ensuite, les couvertures végétales ont une fonction recycleuse (Figure 9). C'est cette fonction qui permet au système sol-plante de fonctionner en "circuit fermé" avec des pertes minimales

en éléments minéraux. Il s'agit donc de recycler à chaque saison de culture les ions lixiviés en profondeur. Pour ce faire, les systèmes racinaires doivent combiner la profondeur d'exploration et une forte surface d'interception (systèmes fasciculés des graminées). De plus, ceci participe à la fonction de séquestration du carbone avec une recharge du profil cultural en surface (litière aérienne) et en profondeur (litière souterraine). Ce carbone a un impact important sur la CEC, les propriétés physiques et hydrodynamiques du sol ainsi que sur l'activité biologique. Enfin, cette séquestration du carbone (CO_2 atmosphérique) pourrait diminuer "l'effet de serre".

Figure 9 : La fonction de recyclage



5.4. UNE STRUCTURE

Le succès et la pérennisation du semis direct associé aux couvertures végétales dépendent de propriétés physiques incontournables du profil cultural. Il s'agit de créer et de maintenir un espace poral favorable à toutes les cultures et de faire en sorte que le sol puisse offrir une forte résistance à la déformation (état de surface) et au tassement, dus au trafic des machines et des hommes en période humide ainsi que l'effet "splash" des gouttes de pluie (Figure 10).

L'espace poral favorable à la pérennisation des SCV (profil cultural régulateur associé à une forte porosité, à un ressuyage rapide et à une forte capacité de rétention en eau) est créé puis maintenu, grâce simultanément:

- au travail biologique des systèmes racinaires des cultures;
- au travail biologique des systèmes racinaires des couvertures végétales qui remplace le travail mécanique du sol;
- au travail de la faune associée (macrofaune et mésofaune) et aux activités de la flore qui jouent un rôle dans la stabilité structurale des agrégats.

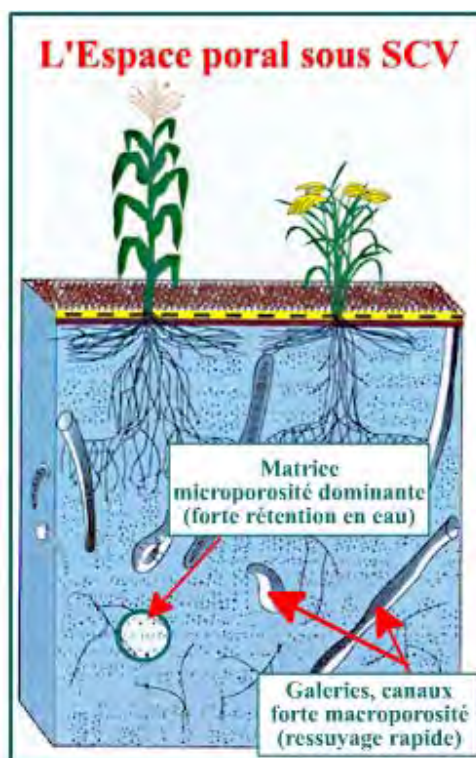
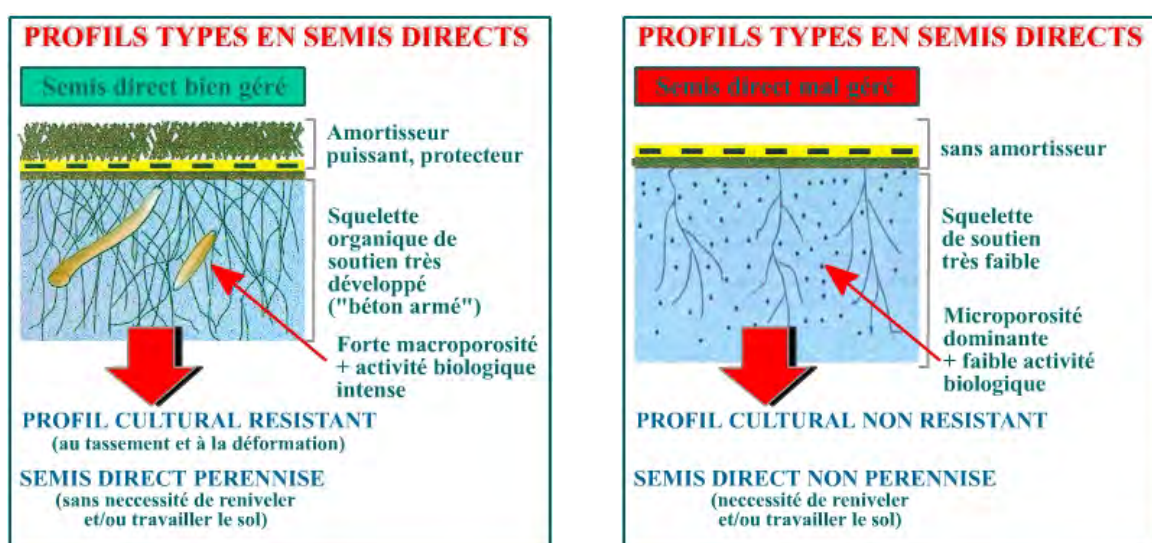


Figure 10: L'espace poral sous SCV

La résistance mécanique du profil cultural à la déformation et au tassement dépend à la fois de:

- l'importance et la nature de la couverture du sol en surface (paille desséchée ou stolons) qui joue le rôle d'amortisseur;
- l'importance et la nature de la trame racinaire dans le profil cultural qui joue le même rôle que le fer dans la résistance mécanique du béton armé. C'est un véritable squelette organique du soutien du sol. On notera l'importance des systèmes racinaires fasciculés des graminées ainsi que l'intérêt des plantes à rhizomes et stolons.

Figure 11: Evolution des profils culturaux



5.5. L'ENHERBEMENT

Les objectifs de limitation de l'enherbement concernent à la fois [58]:

- * la réduction maximum de l'utilisation des herbicides ou des sarclages manuels (réduction du coût, des temps de travaux et des facteurs de pollution);
- * apporter une réponse en cas de feu accidentel avec une bonne capacité de reprise des couvertures assurant toujours une relation de dominance par rapport aux mauvaises herbes;
- * assurer un contrôle des pestes végétales (*Cyperus rotundus*, *striga* sp.).

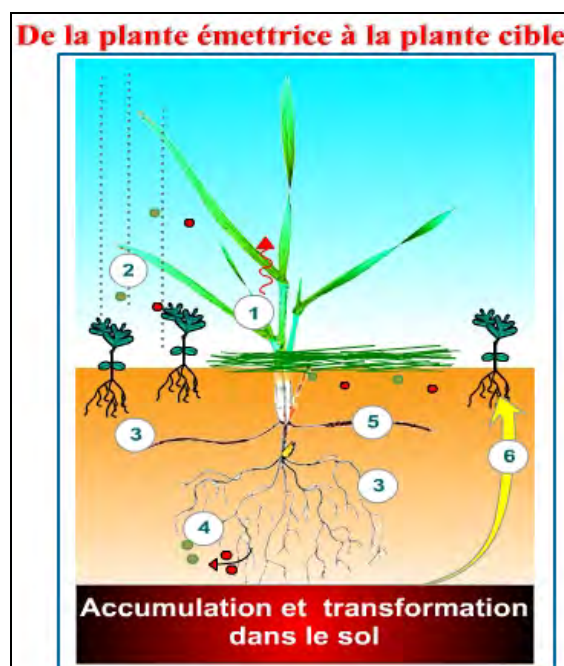
La limitation des populations de mauvaises herbes par les couvertures végétales se réalise tout d'abord par des phénomènes de compétition (principalement une compétition au niveau de la lumière, effet "ombrage"). De plus, certaines couvertures présentent des effets allélopathiques. Ces mécanismes dépendent de la durée de la couverture et/ou de sa capacité de reprise après dessèchement pour l'implantation des cultures [36], [37].

L'allélopathie correspond à l'ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux vivants ou morts . Ces phénomènes s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant au voisinage des espèces allélopathiques ou leur succédant sur le même terrain. On recherchera les effets inhibiteurs sur la croissance des mauvaises herbes tout en vérifiant l'innocuité sur les plantes cultivées. Les composés allélopathiques sont soit des produits du métabolisme, soit des produits déchets évacués par la vacuole pour éviter une auto-intoxication. L'émission des métabolites secondaires dans l'environnement peut se faire par différentes voies (Figure 11) [36], [37]:

- Volatilisation (1): exsudation de composés volatiles par les parties vivantes de la plante;
- Lessivage et pluviolixiviation (2): les parties aériennes subissent un lessivage par la pluie et la rosée qui entraîne les substances solubles;
- Décomposition des débris (5): la décomposition des parties mortes de la plante (litière à la surface du sol et racines) peut libérer des toxines soit directement, soit à la suite de la décomposition par les microorganismes du sol (6);
- Exsudation racinaire (4), l'appareil racinaire vivant et intact excrète une grande variété de composés chimiques (rhizidéposition).

Le transport des composés dans le sol est assuré par l'eau (3).

Figure 11: Les mécanismes de l'allélopathie



L'intensité des phénomènes d'allélopathie dépend des caractères morphologiques, physiologiques et écologiques (densité, âge, cycle, état de stress des plantes), des facteurs climatiques (température, humidité) et des facteurs édaphiques (physico-chimiques et biologiques), les composés allélopathiques étant stockés et transformés dans le sol (6) [36], [37].

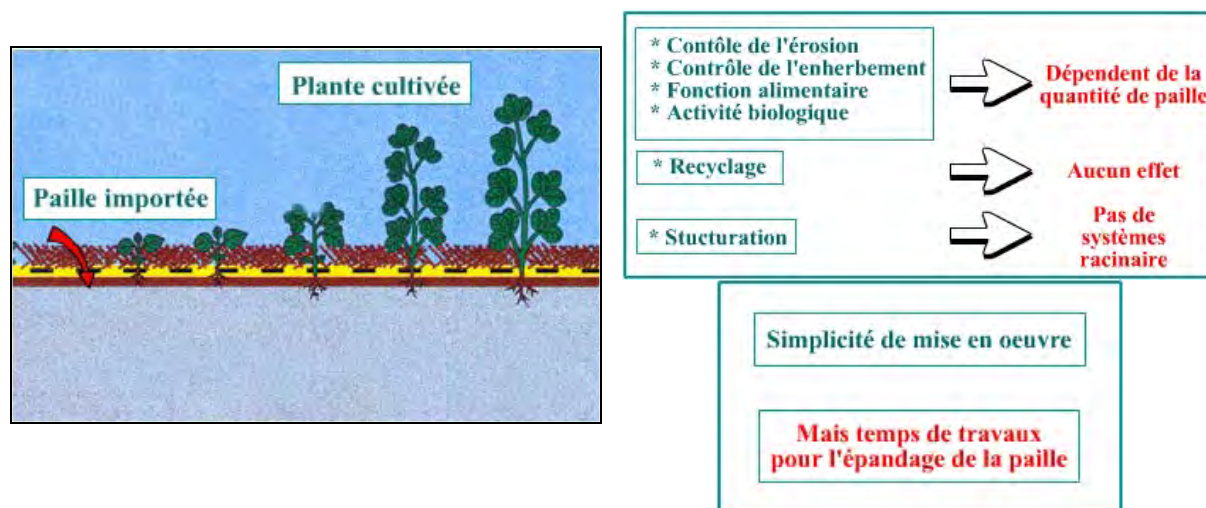
Les facteurs physico-chimiques du sol affectent la quantité et la qualité des composés allélopathiques. La texture et les facteurs comme le pH, le carbone organique et l'azote disponible influencent significativement l'expression de l'allélopathie. Les microorganismes jouent aussi un rôle important. Ils peuvent dégrader les composés allélopathiques en des sous-produits plus ou moins toxiques. Ils peuvent influencer la disponibilité en nutriments qui interviennent sur le devenir des composés.

En matière de protection de l'environnement, on notera que les couvertures végétales empêchent tout contact direct des matières actives avec le sol. Et, après pluviolixiviation et entraînement dans le sol, la présence d'une activité biologique intense assure une dégradation plus rapide des composés xénobiotiques. C'est aussi pourquoi, les matières actives à action racinaire ont une rémanence d'action réduite. Les matières actives à action foliaire leur seront préférées.

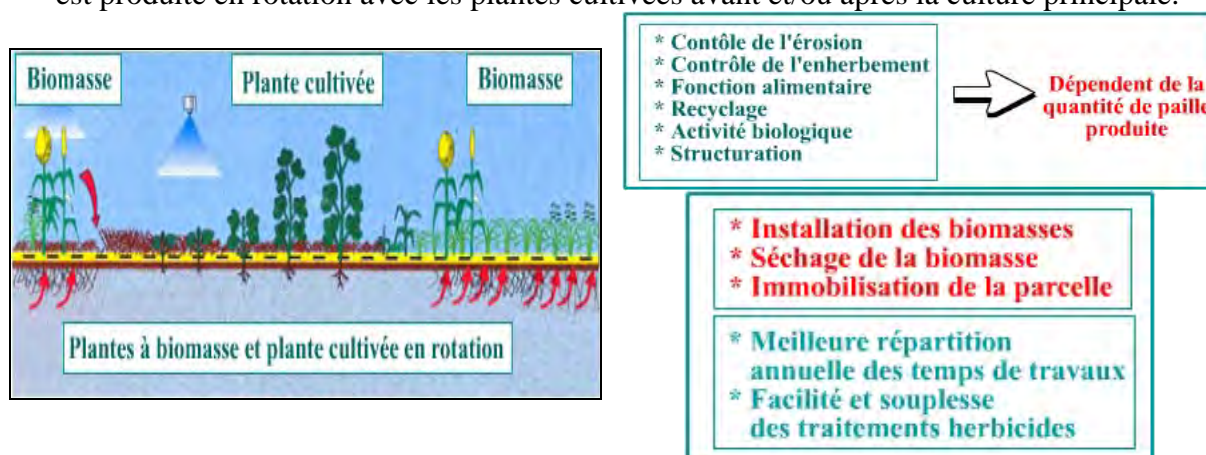
5.6. DES SYSTEMES [23]

Les systèmes de culture avec couverture végétale peuvent se décliner en quatre variantes principales, chacune présentant ses défauts et avantages respectifs. Ceux-ci concernent à la fois les fonctions principales des couvertures décrites auparavant, les modalités pratiques de mise en œuvre (niveau de technicité requis), et leur adaptabilité culturelle (capacité à être adoptés). Dans la suite du texte, nous distinguerons les plantes cultivées des couvertures végétales. Cependant, ces dernières sont toutes des espèces fourragères et peuvent être exploitées comme telles, du moins partiellement.

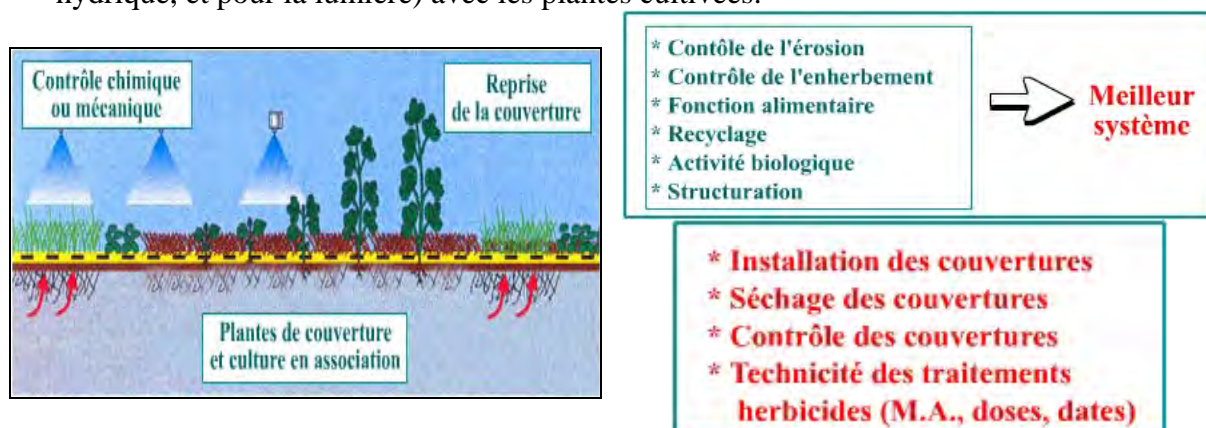
1. **Figure 12: Les systèmes avec recharge en biomasse importée (paillage du sol).**



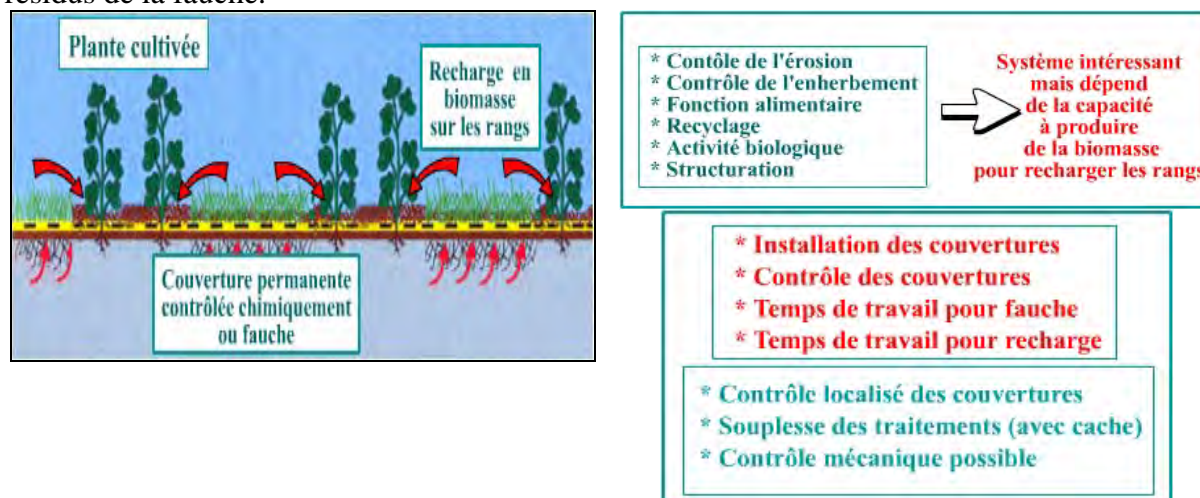
2. **Figures 13: Les systèmes avec biomasse produite sur place et desséchée.** La biomasse est produite en rotation avec les plantes cultivées avant et/ou après la culture principale.



3. **Figure 14 :Les systèmes avec couverture végétale permanente.** Il s'agit de conduire une association entre les plantes cultivées et la couverture végétale. Celle-ci est contrôlée chimiquement ou manuellement (fauche) pour ne pas entrer en compétition (minérale, hydrique, et pour la lumière) avec les plantes cultivées.



4. **Figure 15 : Les systèmes mixtes** où les plantes sont cultivées avec de forts écartements (principalement des vergers) ou avec des systèmes de rangs jumelés afin de ménager des inter-rangs (ou inter-rangs jumelés) suffisamment larges pour y conduire des couvertures pérennes maintenues vivantes et traitées manuellement (fauche). Localement (au pied des fruitiers ou en intra-rangs jumelés) la couverture est herbicidee et remplacée par les résidus de la fauche.



Le tableau 2 [23] résume les différents avantages et inconvénients techniques de chaque système quant à leurs fonctions et mise en application.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients techniques des systèmes de culture.

	CONSTITUTION DE LA COUVERTURE		
	Résidus + Adventices	Recharge en biomasse	Couverture vive + Systèmes mixtes
PRODUCTION DE BIOMASSE	Biomasse produite sans intervention supplémentaire mais en quantité souvent insuffisante, d'où un effet fugace.	Nécessité d'immobiliser la parcelle pour la production de la biomasse.	Implantation parfois difficile de la couverture (enherbement,...). Il est recommandé de cultiver dans une parcelle où la couverture est déjà installée.
EXPLOITATION FOURRAGERE DE LA BIOMASSE	Impossible (biomasse insuffisante)	Possible avec une exportation partielle de la biomasse. Il faudra alors ajuster la fertilisation pour compenser les exportations.	Possible avec une exportation partielle ou totale de la biomasse. Il faudra alors ajuster la fertilisation pour compenser les exportations.
PREPARATION DE LA BIOMASSE (séchage)	Herbicide total Et/ou fauche.	Herbicide total Et/ou fauche Et/ou roulage.	Traitement herbicide ou fauche sur les lignes de plantation.
PERENNITE DE LA BIOMASSE	Biomasse à effet fugace à renouveler après chaque culture.	Biomasse à renouveler.	Biomasse permanente.
CONTROLE DE LA BIOMASSE DANS LA CULTURE	Contrôle nécessaire des adventices Nécessaire car la flore évolue vers des espèces résistantes aux herbicides.	Non (couverture morte).	Contrôle souvent nécessaire pour éviter toute compétition (physique, minérale, hydrique) avec la culture. Contrôle ménagé pour ne pas détruire la couverture.
PLANTE CULTIVEE <i>* semis</i> <i>* entretien</i>	Pas de problèmes particuliers. Reprise de l'enherbement précoce dès que la biomasse a disparu.	Matériel et modes de semis à ajuster pour semer dans une biomasse importante. Reprise de l'enherbement progressive. (effets allélopathiques)	Matériel et modes de semis à ajuster pour semer dans une biomasse importante. Enherbement fortement réduit par la présence de la couverture.
TEMPS DE TRAVAUX	Calendrier alourdi par la lutte contre les adventices.	Meilleure répartition annuelle des temps de travaux. La couverture réduit les temps de sarclage en période de pointe (saison des pluies). Sa mise en place se fait en période peu chargée (hiver).	Réduction importante des temps de travaux lorsque la couverture est installée.
TECHNICITE REQUISE <i>* respect des dates</i> <i>* choix des produits</i> <i>* souplesse des dosages</i>	Large souplesse dans les dates d'intervention. Herbicides totaux déjà utilisés par les agriculteurs. Souplesse dans les dosages.	Large souplesse dans les dates d'intervention mais nécessité de respecter les dates de semis car il faut intégrer une production de biomasse dans les calendriers culturaux. Herbicides totaux déjà utilisés par les agriculteurs. Souplesse dans les dosages.	Respect absolu des dates de contrôle de la couverture pour éviter les compétitions aux stades critiques (sauf dans les vergers). Herbicides spécifiques souvent nouveaux pour les agriculteurs Respect absolu des doses pour bien contrôler la couverture sans la détruire
EROSION	Faible efficacité.	Efficacité en fonction de la quantité de biomasse et sa vitesse de décomposition.	Efficacité totale.
ADAPTABILITE CULTURELLE	Technique largement diffusée malgré les contraintes socio-culturelles ("travail dans la saleté").	Technique nouvelle mais proche des pratiques sur résidus de récolte.	Technique nouvelle qui rejoint certaines pratiques traditionnelles.

5.7. UTILISATIONS FOURRAGERES

Les systèmes de culture avec couverture végétale permettent une meilleure intégration de l'agriculture et de l'élevage. Toutes les espèces végétales utilisées pour les recharges en biomasse et/ou comme couverture pérenne sont des espèces fourragères. De part la production en continue de biomasse, une utilisation fourragère est possible. Il faudra alors gérer la nécessité de constituer une recharge en biomasse des systèmes (pour assurer la meilleure régulation possible des fonctions et la reproduction des ressources) tout en ménageant des possibilités d'exportation fourragère.

Pour ce faire, il conviendra d'assurer au préalable un diagnostic rapide mais pertinent des besoins fourragers et des pratiques des agriculteurs en ce domaine par les méthodes participatives utilisées pour la conception des systèmes de culture. Il conviendra d'offrir encore une palette de choix possibles pour ne pas limiter l'offre à une ou deux variétés/espèces préférées.

Le choix des couvertures végétales fourragères doit être réalisé en fonction des contraintes de sol et de climat. Peu de fourrages présentent la particularité de bien produire en tout lieu. Notamment, les situations spécifiques suivantes nécessitent un choix raisonné:

- Sols acides (ou alcalins),
- Zones à saison fraîche marquée,
- Zones à saison sèche marquée,
- Zones à risque d'engorgement prolongé des sols,
- Zones où le risque de feu est important.

Enfin, le choix de l'espèce fourragère est insuffisant. Il convient aussi de déterminer la ou les variétés de cette espèce les mieux adaptées au milieu et aux besoins des agriculteurs. Par exemple, la variété Serengeti de *Brachiaria brizantha* est plus courte et forme un tapis gazonnant alors que les deux autres variétés, Marandu et Karanga, sont hautes. Ces variétés fleurissent et produisent aussi des graines à des périodes différentes. En règle générale, les variétés sont sélectionnées pour leurs caractéristiques spécifiques comme leur croissance, leur date de floraison, leur production en graines, leur résistance aux maladies, à la sécheresse, à l'engorgement... De nouvelles variétés sont continuellement sélectionnées pour répondre aux problèmes spécifiques rencontrés. Il convient donc de ne pas proposer une variété quelconque mais seulement celle(s) qui présente(nt) la meilleure adaptation au milieu.

Différentes techniques permettent une valorisation fourragère au sein des SCV. Elles concernent soit l'utilisation directe de la biomasse des couvertures végétales soit la mise en oeuvre de techniques complémentaires spécifiques pour la production fourragère mais qui améliorent aussi les fonctions de régulation et de reproduction des ressources.

Elles sont décrites ci-après:

1. Parcelles gérées par fauche et exportation

- * Fourrage d'accès facile et concentré près des habitations,
- * Espèces fourragères utilisées en tête d'assolement pour leurs fonctions restauratrices de la fertilité des sols,
- * Nécessité de bien évaluer la quantité fourragère exportable sans conséquences préjudiciables sur la fertilité du sol.



2. Parcelles gérées en pâturage

- * Mêmes propriétés que le système précédent, mais avec des restitutions organiques de la part des animaux;
- * Solution simple si la terre est disponible,
- * Nécessite une haie pour protéger des autres animaux,
- * Bien gérer le rythme du pâturage.

(Prairie de *Pennisetum clandestinum*)



3. Haies vives fourragères

- * Protection des parcelles contre l'érosion et la divagation des animaux,
- * Niche de conservation de l'activité biologique des sols,
- * Procure un supplément riche en protéines.

(*Calliandra calothyrsus*)



4. Cordons anti-érosifs

- * Limitent l'érosion,
- * Embocagement des parcelles,



5. Jachères améliorées

- * Jachères à partir de légumineuses,
- * Restauration de la fertilité des sols,
- * Diminution des mauvaises herbes,
- * A gérer en fonction de la durée de la jachère.



6. Production localisée de biomasse en rotation

- * Utilisation fourragère partielle de la biomasse destinée à la couverture végétale,
- * Fonctions de régulation et de reproduction des ressources,
- * A gérer en fonction de la quantité de biomasse voulue en couverture du sol.

(Mil et sorgho)



7. Couvertures végétales pérennes associées aux cultures

Fonctions de régulation et de reproduction des ressources

(Association *Pennisetum clandestinum* et géranium)



8. Couvertures végétales sous des arbres

- * Fonctions de régulation et de reproduction des ressources,
- * Protection contre l'érosion.

(*Arachis pintoï* dans verger d'agrumes)



9. Protection du sol contre l'érosion

- * Protection des infrastructures et zones de captage,
 - * Poacées et légumineuses souvent stolonifères
- Diminution des mauvaises herbes

(Stolons et système racinaire de l'*Arachis pintoï*)



5.8. CONCLUSION

Les systèmes de culture avec couverture végétale permettent de contribuer largement à la durabilité de l'agriculture, notamment par la viabilité des écosystèmes cultivés assurée par une meilleure prise en compte des fonctions naturelles de régulation de ces systèmes.

Bien qu'ils semblent aller à l'encontre des techniques culturales préconisées et largement diffusées (travail du sol, sol nu, recours excessifs aux intrants chimiques...), ils se rapprochent parfois de systèmes traditionnellement pratiqués de longue date. C'est pourquoi, leur adoption, bien qu'elle soit freinée dans un premier temps par "des idées reçues" tenaces, ne semble poser de problème si le contexte socio-économique local n'est pas trop limitant (disponibilité en semences et produits phytosanitaires de base, encadrement technique...).

La conduite de ces systèmes nécessite une bonne compréhension des processus en jeu et surtout de respecter des itinéraires techniques parfois exigeants. Cependant, la diversité des "montages techniques" offerte laisse le libre choix aux agriculteurs pour ajuster cette gestion agro-écologique des écosystèmes cultivés à leurs technicité et moyens.

LES SCV DANS LES HAUTS DE LA REUNION

[23] La gamme de systèmes de cultures, avec couverture végétale et travail minimum du sol proposée repose sur une diversité de technicité requise qui peut être décrite selon 4 principaux types décrits auparavant:

1. Les systèmes de culture avec couverture morte sans recharge en biomasse complémentaire en utilisant les résidus de récolte et l'enherbement naturel (succession culturale).
2. Les systèmes de culture avec recharge en biomasse produite sur place (succession culturale) ou importée,
3. Les systèmes avec couverture pérenne (en association culturale),
4. Les systèmes mixtes.

La plupart de ces systèmes sont décrits en détail dans "Gestion Agrobiologique des Sols, Un guide pour la mise en place d'itinéraires techniques dans les Hauts sous le Vent de La Réunion, R. Michellon, P. Técher, 1996".[61].

Tableau 3 : Les différents types de systèmes de culture.

(RESIDUS + ADVENTICES)	CULTURE 1	RESIDUS DE RECOLTE + ADVENTICES	S E C H A G E	CULTURE 2	S U C C E S S I O N
RECHARGE EN BIOMASSE	CULTURE 1	PRODUCTION DE BIOMASSE		CULTURE 2	
COUVERTURE VIVE	CULTURE 1 + COUVERTURE VIVE			CULTURE 2 + COUVERTURE VIVE	A S S O C I A T I O N
	OU CULTURE + COUVERTURE			PERENNE VIVE	
SYSTEMES MIXTES	CULTURE ET COUVERTURE			EN BANDES ALTERNEES	

6.1. LES SYSTEMES SUR RESIDUS DE RECOLTE ET ADVENTICES

Les résidus de la défriche ou de la culture précédente détruits au glyphosate (adventices, pailles de canne à sucre,...) sont conservés sur place pour constituer la couverture morte. Celle-ci présente des effets bénéfiques mais trop fugaces. Ces systèmes sont les plus simples techniquement mais leurs fonctions de restauration de la fertilité et de contrôle de l'enherbement dépendent de la quantité de biomasse initiale et de sa vitesse de décomposition. De plus, les fonctions de recyclage des éléments minéraux ("pompe recycleuse") et d'exploitation fourragère ne peuvent être assurées. Cependant, ces systèmes sont intéressants de part leur facilité de mise en œuvre et leur caractère démonstratif de l'intérêt de la couverture et du travail minimum du sol. Enfin, ces systèmes se rapprochent des techniques traditionnelles parfois pratiquées en réponse aux problèmes de l'érosion et du passage de cyclones.

Cependant, si les contraintes physiques, biologiques et chimiques du sol sont trop importantes, il peut être nécessaire d'y remédier avant d'installer ces systèmes. C'est pourquoi, les fiches techniques y afférant proposent de [61]:

- Corriger les carences (CaO, oligo-éléments...),
- Réactiver la vie biologique (Rotations ou associations culturales, apports de matière organique),
- Renforcer la couverture du sol (conserver tous les résidus et adventices desséchées),
- Utilisation d'herbicides, avec généralement deux interventions :
 - avant semis : herbicides de nettoyage à partir, si possible, de matières actives peu rémanentes et peu polluantes (Glyphosate),
 - après semis : herbicides résiduels ou de post-émergence sélectifs,
- Recours aux outils disponibles: pics à géranium ou canne à sucre, angady malgache,
- Choix de semoirs adaptés: roue semeuse, canne planteuse, semoirs de semis direct.

Et les exemples de fiches techniques proposées concernent les cultures suivantes [61]:

- Légumineuse
 - Haricot
- Solanacée
 - Tomate
 - Pomme de terre
- Composée
 - Artichaut
- Graminée
 - Maïs
- Crucifère
 - Chou
- Géranium rosat

De part leur simplicité de mise en œuvre et leur relative plasticité, la mise à jour de ces fiches et leur l'adaptation à d'autres cultures sont aisées.

6.2. LES SYSTEMES AVEC RECHARGE EN BIOMASSE

Pour améliorer l'efficacité des systèmes précédents en termes de restauration de la fertilité des sols et de contrôle des adventices, il a été proposé de compléter la biomasse disponible, soit en important des pailles issues d'autres parcelles, soit en produisant sur place une culture de production de biomasse. Une partie de celle-ci peut alors être utilisée comme fourrage. Leur efficacité dépend de la quantité de biomasse résiduelle et de sa vitesse de décomposition qui doit satisfaire à deux besoins: fonction alimentaire (restitutions) et de protection contre l'érosion et contre les adventices (couverture du sol). S'ils sont plus efficaces que les systèmes précédents, ils nécessitent quelques modifications des techniques culturales, notamment:

- Nécessité d'immobiliser si production locale de biomasse,
- Préparation (séchage, roulage) de la biomasse produite localement ou épandage de la biomasse importée,
- Nécessité d'un matériel spécifique pour semer dans de fortes épaisseurs de mulch,
- Respect des calendriers culturaux des cultures en rotation.

L'origine de la biomasse importée peut être naturelle (végétation importante dans les Hauts). La biomasse produite localement peut être constituée à partir des différentes cultures fourragères déjà disponibles. Elles peuvent être de saison chaude et pluvieuse. Mais dans ce cas, il faudra les choisir pour leur vitesse de croissance rapide pour ne pas perturber le calendrier de culture et immobiliser trop longtemps les parcelles. Il est à noter que les mils et sorghos, peu ou pas utilisés à La Réunion, sont très intéressants dans ce contexte, du fait de:

- Leur vitesse de croissance,
- Leur possibilité de croître en conditions climatiques (pluviométrie) marginales donc de les insérer plus facilement en début ou fin de saison pluvieuse,
- Leur système racinaire puissant (recyclage des éléments minéraux),
- Leur effet allélopathique sur certaines adventices.

Des fourrages pluriannuels sont aussi intéressants, tels les *Brachiaria*, *Paspalum*, *Panicum*..., qu'il conviendra de dessécher dès que la biomasse obtenue est suffisante.

En contre-saison, on s'orientera vers les céréales d'hiver, dont une exploitation fourragère est aussi partiellement possible soit en "vert" soit en grains. On s'orientera vers les avoines (forts effets allélopathiques sur certaines adventices), blés orges, triticales (rustiques). Elles peuvent être associées à des légumineuses afin d'améliorer la qualité du fourrage et assurer l'amélioration des propriétés physiques et chimiques du sol (Vesce, féverole, pois fourragers).

Les graminées profitent de la fixation symbiotique de l'azote des légumineuses. Et ces dernières utilisent les céréales comme tuteur. De même, des crucifères sont aussi utilisables tels le radis fourrager à système racinaire de type pivotant puissant. Les fiches techniques de ces différentes cultures sont celles préconisées par les services d'élevage.

6.3. LES SYSTEMES AVEC COUVERTURE VEGETALE PERENNE

Ce sont les systèmes qui apportent les réponses les plus efficaces en terme de restauration de la fertilité des sols et de contrôle des adventices. En contre-partie, ils sont plus exigeants techniquement puisqu'il s'agit de gérer une association entre une couverture végétale vivante et une plante cultivée. Il faut contrôler la couverture végétale pour qu'elle ne soit pas compétitive tout en ne la détruisant pas afin qu'elle continue à remplir ses fonctions. De plus, ces systèmes sont les plus éloignés des pratiques traditionnelles et que leur diffusion en sera plus difficile. Notons tout de même que l'emploi des couvertures pérennes dans les vergers est plus simple d'utilisation.

Au niveau de la technicité requise, les points sensibles concernent:

- La phase d'installation de la couverture qui devra être la plus réduite possible (lutte contre les adventices) sachant qu'il est possible de commencer le semis direct dans des parcelles déjà installées (prairies de Kikuyu),
- Le contrôle (mécanique ou chimique) de la couverture,
- Le respect des dates d'intervention,
- Le choix des matières actives et de leur dose d'emploi.

Cependant, il n'est pas toujours nécessaire d'immobiliser de surface productive pour l'installation des couvertures. Parfois, leur développement est favorisé sous couvert végétal d'une culture vivrière ou maraîchère.

Les légumineuses ne sont pas les plus exigeantes lors de leur mise en place. Après élimination des adventices pérennes les plus agressives, elles peuvent être semées ou bouturées. Le lotier velu (*Lotus uliginosus*) peut être semé directement à la volée, après inoculation avec son *rhizobium* spécifique et enrobage des semences. Par contre, pour le kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), il est préférable de l'implanter en semis direct en sol nu ou par bouturage [45] [46].

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 allie une multiplication aisée, par graine ou par bouture, à une large adaptabilité climatique, avec une préférence pour les zones humides.

Les couvertures végétales choisies sont soit des graminées, soit des légumineuses. Elles sont toutes de type fourrager. Si on désire simplifier les opérations de contrôle chimique de la couverture dans la culture, on peut aussi choisir de combiner une couverture de type dicotylédone (légumineuses) avec une plante cultivée de type graminée, ou inversement.

Le document mentionné plus haut présente un grand nombre de systèmes possibles qui sont décrits depuis la phase d'installation de la couverture pérenne jusqu'aux fiches techniques des plantes cultivées. Ces fiches intègrent aussi la possibilité d'installer un embocagement des parcelles par l'intermédiaire de légumineuses arbustives (*Leucaena diversifolia*, *Calliandra calothyrsus*).

Les couvertures décrites sont le Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), le Lotier (*Lotus uliginosus*), le trèfle du Kenya (*Trifolium semipilosum*), et *Desmodium Intortum* [61].

6.3.1. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture de kikuyu

Installation du kikuyu

- Kikuyu installé seul
- Kikuyu installé avec des cultures associées
 - Maraîchères ou vivrières: Haricot, Maïs, Pomme de terre
 - Fourragères: Lotier, Avoine, Chou fourrager

Cultures possibles dans le kikuyu*

- Cultures maraîchères et vivrières
 - Légumineuse: Haricot
 - Solanacée: Tomate
 - Crucifère: Brocoli
- Cultures industrielles: Le géranium rosat
- Cultures fruitières: Le Pêcher
- Cultures fourragères: Haie fourragère (*Calliandra calothyrsus*), *Leucaena diversifolia*, Légumineuse herbacée (Lotier velu)

* Attention : les cultures de graminées sont prohibées dans le kikuyu installé.

6.3.2. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture de lotier

Installation du lotier

- Lotier installé seul
- Lotier installé avec des cultures associées
 - Maraîchères ou vivrières: Haricot, Maïs, Pomme de terre
 - Culture industrielle: Géranium rosat
 - Culture fruitière: Pêcher
 - Culture fourragère: Kikuyu, *Calliandra calothyrsus*, *Leucaena diversifolia*

Cultures possibles dans le lotier

- Cultures maraîchères ou vivrières
 - Légumineuses: Haricot
 - Graminée: Maïs
 - Solanacée: Tomate
 - Crucifère: Chou, Brocoli, Pet-sai
 - Composée: Artichaut
- Cultures industrielles: Le géranium rosat
- Cultures fruitières: Le pêcher
- Cultures fourragères: Haie ou banque fourragère (*Calliandra calothyrsus*, *Leucaena diversifolia*) Graminées (Kikuyu)

Complément: Classement des matières actives herbicides selon leur type d'action.

6.3.3. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture d'arachide pérenne

Installation de l'arachide pérenne en association avec des cultures

- Cultures maraîchères et vivrières
 - Légumineuse: Haricot
 - Solanacée: Tomate
 - Graminée: Maïs

Cultures possibles dans l'arachide pérenne

- Cultures maraîchères et vivrières
 - Légumineuse: Haricot
 - Solanacée: Tomate
 - Composée: Artichaut
 - Graminée: Maïs
- Culture industrielle: Géranium rosat

Complément: Classement des matières actives herbicides selon leur type d'action

6.3.4. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture de trèfle du Kenya

Installation du trèfle du Kenya en association avec des cultures

- Cultures maraîchères et vivrières
 - Légumineuse: Haricot
 - Solanacée: Pomme de terre
 - Composée: Artichaut
 - Graminée: Maïs

Cultures possibles dans le trèfle du Kenya

- Cultures maraîchères et vivrières
 - Légumineuse: Haricot
 - Solanacée: Tomate
 - Composée: Artichaut
 - Graminée: Maïs
- Cultures fruitières: Pêcher

6.3.5. Itinéraires techniques reproductibles avec la couverture de Desmodium

Installation du desmodium en association avec des cultures

- Graminée: Maïs

Cultures possibles dans le desmodium

- Légumineuse: Haricot
- Graminée: Maïs

6.3.6. Techniques d'inoculation et d'enrobage des semences de légumineuses

Les conditions d'installation des légumineuses, et en particulier de l'établissement de la symbiose *Rhizobium*-plantule, ont une importance primordiale sur leur mise en place, l'efficacité de leur fixation d'azote atmosphérique et leur production ultérieure.

Quelques recommandations pratiques permettent de réaliser aisément cette opération et à moindre coût.

6.4. LES SYSTEMES DE CULTURE MIXTES

Ces systèmes sont une combinaison des deux derniers types et associent leurs avantages respectifs pour assurer des fonctions de régulation satisfaisantes tout en étant techniquement plus simples que les systèmes avec couverture végétale pérenne.

Il s'agit en fait de bandes alternées de couverture végétale pérenne et de plantes cultivées. La largeur respective de ces bandes dépend de la culture et de la couverture. La densité de la plante cultivée est alors modifiée afin de conserver une densité à l'hectare de plants proche de

l'optimum. Ces systèmes ont été testés avec succès sur une culture de géranium associée au Ray-grass, lotier ou kikuyu et une culture de maïs associée au *Brachiaria ruziziensis* ou à la *mucuna*. Les bandes de couverture vive sont gérées plus facilement de façon chimique ou mécanique (débroussailleuse). Dans ce dernier cas, les résultats de la coupe sont utilisés pour assurer une couverture morte sur les bandes cultivées. Une exploitation fourragère partielle est aussi possible.

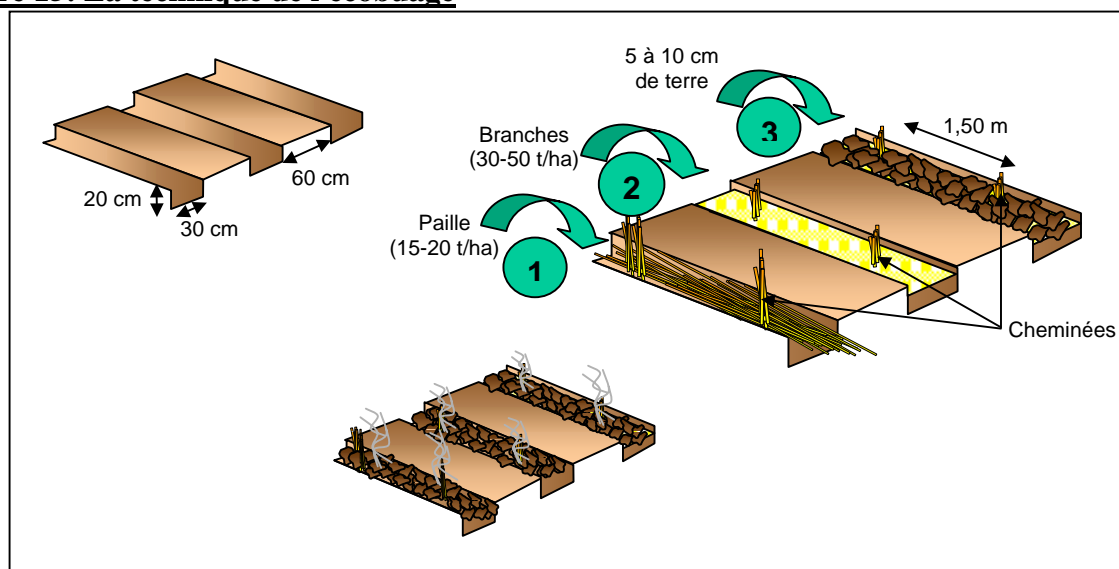
6.5. NOTE SUR LA TECHNIQUE DE L'ECOBUAGE

De part leur nature et du fait d'un contexte socio-économique spécifique, les sols des Hauts sont très fragiles et souvent peu fertiles. Le maintien d'un niveau de fertilité satisfaisant avec des techniques culturales classiques ne reposant plus sur la rotation avec une jachère, sous-entend le recours à des niveaux d'intrants incompatibles avec les moyens des agriculteurs et les mesures de protection de l'environnement.

Sur sol fortement dégradé, les techniques de semis direct et de couverture végétale peuvent apporter des solutions satisfaisantes. Cependant, suivant l'état initial de dégradation, et sans recours à un redressement des carences chimiques des sols, l'amélioration de la production et des résultats d'exploitation peut sembler trop lente pour les agriculteurs. Une technique particulière, l'écobuage, semble intéressante. Cependant, afin d'être pleinement efficace et de ne pas compromettre à moyen terme la durabilité des systèmes de culture, certaines précautions sont à suivre.

L'écobuage consiste à une oxydation provoquée de la matière organique des sols par une combustion lente et contrôlée. On parlera alors plutôt d'éco-brûlage à ne pas confondre avec les pratiques traditionnelles de brûlage des défriches. Plutôt que de brûler la jachère pour nettoyer le terrain, elle est conservée pour le paillage et enfouie partiellement dans des tranchées où elle assure une combustion lente (Figure 15). Celle-ci est assurée par des herbes desséchées qui assurent la mise en feu et des branches qui permettent le maintien de la structure des tranchées ainsi que la durée de combustion (24 à 48 h). Cette durée est aussi assurée par le tirage réglable à partir de la hauteur de la terre de recouvrement et l'espacement des cheminées.

Figure 15: La technique de l'écobuage



Les avantages de cette technique concernent: le décompactage du sol sur les 20 premiers centimètres, la remontée du pH, la libéralisation du phosphore bloqué dans ce type de sol, la minéralisation de la matière organique sans volatilisation (combustion lente et à température

contrôlée). Les précautions concernent la diminution de la matière organique (0,5 à 1 %), la destruction temporaire de la structure et la réduction temporaire de l'activité biologique. C'est pourquoi, il est impératif de réaliser l'écobuage de façon localisée (20 cm tous les 60 cm), de ne pas le répéter chaque année et de l'associer aux couvertures végétales afin de protéger le sol contre l'érosion, de recharger le profil en matière organique et de relancer l'activité biologique. Cette technique est idéale pour les systèmes de culture de type mixte où la plante cultivée sera installée sur les andains écobués en rangs jumelés. Il faudra pailler le sol dès la réalisation de l'écobuage. Et les inter-bandes seront installés avec une couverture vive qui, par fauche, permettra de remplacer le paillage sur les rangs cultivés. Les inter-bandes sont exploitables pour des cultures moins exigeantes ou pour une exploitation fourragère partielle. Le facteur limitant reste la durée de travail pour la réalisation de l'écobuage qui doit être considéré comme un investissement qui s'amortira sur plusieurs années. Sur les pentes pas trop fortes, il est possible de mécaniser la réalisation des andains par l'utilisation du "pic à canne à sucre".

6.6. NOTE SUR L'EMBOCAGEMENT DES PARCELLES

L'embocagement des dispositifs [67], [68], [81], [IX], s'avère essentiel dans le cadre de la promotion d'une agriculture durable. En effet, il permet de:

- Lutter contre l'érosion,
- Favoriser la pénétration de l'eau dans le sol et fortement réduire le ruissellement,
- Constituer un brise-vent pour la protection des cultures,
- Constituer des niches écologiques pour la macrofaune du sol qui pourra s'y protéger lors d'évènements climatiques exceptionnels (cyclones, sécheresse...).

De plus, les espèces choisies sont toutes d'utilisation fourragère, soit des graminées (*pennisetum purpureum*), soit des légumineuses (*Calliandra calothyrsus*). Dans ce dernier cas, la fixation de l'azote atmosphérique constitue un avantage supplémentaire.

Le mode de gestion de la haie est essentiel pour la réussite du projet. Il conviendra de combiner les possibilités d'exploitation fourragère aux exigences de maintien des fonctions de brise-vent. C'est pourquoi, on s'abstiendra de coupes trop franches durant les périodes cycloniques ou d'alizés. De même, on évitera une trop forte croissance en hauteur afin d'éviter la compétition pour la lumière sur les plantes cultivées.

6.7. NOTE SUR LE MATERIEL DE SEMIS DIRECT

Afin d'installer et gérer les SCV, il convient de proposer du petit matériel d'utilisation manuelle ou mécanisée. Du fait de la topographie, cette dernière option est peu praticable dans les hauts de la réunion. Cependant, pour des situations particulières, où dans d'autres écologies, ces options peuvent être satisfaisantes.

Du matériel traditionnel et disponible localement peut déjà être utilisé pour s'initier au semis direct: "pic à géranium", "pic à canne", pioche, débroussailleuse, pulvérisateur bas volume... Et nous ne parlerons pas ici des semoirs de semis directs tirés par tracteur qui sont maintenant largement développés en Europe. Il s'agit ici de petit matériel d'utilisation simple et facilement reproductible. La technique de semis direct y étant largement développée, c'est au Brésil qu'il convient de prospecter ce petit matériel. En ce qui concerne les semoirs manuels, on s'orientera vers la canne planteuse et la roue semeuse. On se référera aux planches photographiques en annexe de ce rapport. Ce petit matériel a déjà été testé localement et, après une période d'adaptation, est facilement utilisable par les agriculteurs. On trouvera aussi en annexe, d'autres types de semoirs à traction animale qui pourraient être modifiés pour une utilisation avec motoculteur.

Il convient de rappeler ici l'expérience intéressante conduite avec l'APE. Suite à un voyage d'étude à Madagascar organisé par le Cirad, les agriculteurs présents ont ramené un outil traditionnel malgache, l'angady, sorte de bêche droite, d'extrémité fine et lourde. Cet outil s'avère parfaitement adapté pour la plantation du géranium. Immédiatement rebaptisé "trouge" (trouaison-géranium), il a été de suite adopté par les planteurs et permet de diminuer fortement les temps d'implantation.

6.8. LES FOURNISSEURS DE PRODUITS ET MATERIEL

La réussite des innovations et de leur diffusion dépend aussi des possibilités d'approvisionnement en divers intrants nécessaires. Localement, on pourra aussi s'approvisionner auprès des différents fournisseurs en produits et matériels agricoles.

6.8.1. Semences de plantes de couverture

- **IAMA AGROBUSINESS**
Sauers IAMA
2525 Stanley Street
P.O. Box 117, Rockhampton
Queensland, Australia 4700
Contacter Faye Barney: fbarney@iama.com.au, fax (61749) 22 2219.
- **HERITAGE SEEDS**
22 Suscatand Street,
Rocklea Qld 4106, Australia
ou
P.O. Box 76
Bristane Markets Qld 4106, Australia
Contacter Sonya Browning: sonya@heritageseeds.com.au
ou John Hay: export@heritageseeds.com.au
fax: 00 61732 16 6985.
Site Internet: <http://www.heritageseeds.com.au>
- **SETROPA LTD**
P.O. Box 203,
1400 AE Bussum
Netherland
Fax: (31) 35 526 54 24.
Contacter M. KOITER qui parle français: setropa@miconnet.nl
- **THE INLAND & FOREIGN TRADING CO, (PTE) Ltd**
Block 79A, Indus Road
#04-418
Singapore 169589
Contact : Samuel Ratnam
Iftco@pacific.net.sg
- **ANIMAL NUTRITION DIVISION**
Contact : Chirawat Khemsawat
Anddld@box1.a-net.th
- **Programme FSP**
Contacts : Chaisang, Phakaen et Peter Horne
Fsp-thailand@cgiar.org
p.horne@cgiar.org

- **QDPI**
Gympie
P.O. Box 375
Q 4570, Australia
Contacts : Bruce Cook
00 617 48 21 522
00 617 48 21 529
- **Servicios Científicos Agropecuarios (SCA)**
San Isidro del General
Apdo 301-8000
Pérez Zeledon
Costa Rica
Tel : 771-4778
Fax : 771-3694
Mail : scacri@sol.racsa.co.cr
Tel/fax (San José) : 283-9804

6.8.2. Semences de plantes de couverture tempérées (pour les zones d'altitude ou en contre-saison)

- **Semences de Provence**
Rue Gaspard Monge
Z.I. Sud
13200 Arles
Tel,fax : 04 90 96 18 87
04 90 26 27 36
- **RAGT**
Station de Recherche
La Courtade-Haute
Rivières
81600 Gaillac
Tel,fax : 05 63 41 72 22
05 63 41 53 56
- **Agri-Obtentions (INRA)**
B.P. 36
Chemin de la Petite Minière
78041 Guyancourt Cedex
Tel,fax : 01 30 48 23 21
01 30 48 92 92
- **Verneuil Semences**
BP 3
77390 Verneuil l'Étang
Tel,fax : 01 64 42 41 41
01 64 42 41 00
- **André Blondeau Semences**
BP 1
59235 Bersée
Tel,fax : 03 20 61 91 11
03 20 61 91 00

6.8.3. Matériel de semis direct

- **Coop. Castrolanda**
Bernard Van Arragon

Tel/fax : 00 55 42 234 12 74
00 55 42 234 12 96

- **Implementos RYC**
Av. Alexandre Ricardo Vorel
545
Itiopolis-SC
CEP 89.340.000
Tel : 00 55 47 652 23 16
- **Mecanica Mafrense Ltda**
Rua Dr. Mathias
Piechnick, 747
Caixa postal 113
Mafra-SC
CEP 89.300.000
Tel/fax : 00 55 47 642 1533
00 55 47 642 1344
- **Irmãos Fitarelli & Cia. Ltda**
Rua Luis Loeser
420
Aratiba-RS
CEP 99.700.000
Tel,fax : 00 55 54 376 1198
- **Verner Implementos Agricolas Ltda**
Prologamento da rua Cel.
Bertaso
Campo Erê-SC
CEP 89.980.000
Tel,fax : 00 55 49 855 1011

6.8.4. Batteuses - décortiqueuses

- **Votex B.V.**
Mr. J. Van Empel
Wageningsestraat
6673 DD Andelst
NL
Tel,fax : 00 31 488 469500
00 31 488 454041

6.8.5. Produits phytosanitaires

- **Calliope SA** (Formulation ULV)
Route d'Artrix
BP 80
94150 Noguères
calliope@adour.bureau.fr
Tel,fax : 05 59 60 92 92
05 59 60 92 99
- **SIPCAM PHYTEUROP**
35, rue d'Alsace
92531 Levallois-Perret Cedex
Tel,fax : 01 47 59 77 20
01 47 37 54 52

- **Dow AgroSciences Ltd**
Estuary Road
King's Lynn
Norfolk PE30 2JD
England
Tel,fax : (01553) 692600
(01553) 694563
- **BAYER S.A.**
Département SER
49/51 Quai de Dion Bouton
F-92815 Puteau CEDEX
Tel,fax : 01 49 06 52 72
01 49 06 56 73
- **Hoeschst Schering AgrEvo S.A.**
Région Internationale
Les Algorithmes - Immeuble Thalès
Saint-Aubin
91197 Gif Sur Yvette Cedex
France
Tel,fax : 01 69 85 65 00
01 69 85 65 50
- **Rhône Poulenc**
17-20 Rue Pierre Baizet
69263 Lyon Cedex 09
Tel,fax : 04 72 85 25 25
04 72 85 27 99

6.8.6. Appareils ulv (Ultra bas volume)

- **Micron Sprayers Ltd**
Mr. Henry Piotrowski
Bromyard Industrial Estate
Bromyard
UK
Micron@micron.co.uk
Tel,fax : 00 44 1885 482 397
00 44 1885 483 043
- **BERTHOUD Agricole**
Mr. Raphaël
BP 193
69823 Belleville Cedex
France
Tel,fax : 04 74 06 50 50
04 74 06 50 77
- **Tecnoma Technologies**
54, Rue Marcel Paul
BP 195
51206
Epernay
Tel,fax : 03 26 51 99 99
03 26 51 83 51

6.8.7. Fournitures d'expérimentation (Attaches, protections, étiquetage, outillage, conteneurs, supports, substrats...)

- **Puteaux**
8 et 10 Place de la Loi
B.P. 67
78152 Le Chesnay CEDEX
Tel,fax: 01 39 54 53 59
01 39 54 66 32
Site Internet : <http://puteaux-sa.fr>

LES EFFETS MESURES DES SCV

7.1. PERFORMANCES TECHNIQUES DES SCV

Deux systèmes ont été tout d'abord analysés: d'une part couverture avec graminée (kikuyu), d'autre part couverture avec légumineuse (lotier).

La rusticité et l'agressivité du kikuyu et ses fortes potentialités de production ont conduit localement à sa généralisation dans les prairies. Cette plante pionnière a permis la reconquête des zones dégradées, par la monoculture du géranium rosat. Dans d'autres régions tropicales, cette espèce fourragère pérenne à rhizomes et à stolons est aussi utilisée dans les associations forêt-pâturage ou avec verger [III], [IV].

En présence d'une couverture végétale, morte ou vive, la prolifération des mauvaises herbes apparaît réduite. Outre les difficultés d'installation des adventices dans un couvert végétal dense, certaines plantes de couverture présentent des effets allélopathiques. Ainsi, les exsudats racinaires de kikuyu, ou les jus de lessivage de ses parties aériennes réduisent la croissance de *Miscanthus floridulus* [III], *Bidens pilosa* et *Cyperus rotundus* [39], [41].

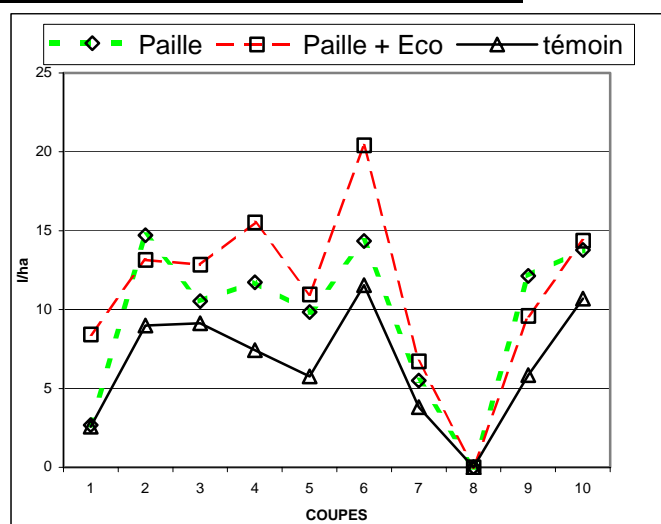
La maîtrise de la couverture est nécessaire en saison chaude pour éviter une concurrence avec la culture. Elle est aisée et peu onéreuse car le fait de disposer d'une flore homogène, quasi monospécifique, permet d'utiliser des doses très faibles d'herbicide. Ainsi, le kikuyu est maîtrisé par une substance de croissance spécifique, le fluazifop-p-butyl (à raison de 60 à 125 g par ha selon la saison), et le lotier par la bentazone (120 g par ha) ou même des apports localisés d'engrais. Les traitements doivent être réalisés avec précautions car il est impératif de ne pas détruire la couverture sous peine de perdre ses effets bénéfiques. Dès que le sol est découvert, à nouveau exposé à la lumière, les adventices agressives prolifèrent (*Cyperus rotundus* ...). L'association du géranium avec le kikuyu conduit momentanément à une réduction de son rendement en saison chaude (décembre, janvier) par rapport à celui obtenu en sol nu (figure 2). Cet effet qui n'est pas lié à des phénomènes d'allélopathie [39] s'accroît lorsque le kikuyu est fauché et n'apparaît pas significativement atténué par une fumure complémentaire [60]. Avec le lotier maîtrisé, cette concurrence mutuelle en période estivale n'est pas observée, et il peut être exploité pour l'affouragement des animaux, même en association avec le géranium. Les effets des plantes de couverture apparaissent très bénéfiques lors du passage d'un cyclone (rendement multiplié par 5 avec kikuyu par rapport au sol nu en 1989). Nous retrouvons ainsi l'effet protecteur contre les dégâts du vent et de l'anthracnose, *Glomerella vanillae* var *Pelargonii* Bour., observé en été par les agriculteurs dans les champs envahis par une adventice, *Setaria pallide fusca*.

En année plus sèche, l'intérêt des plantes de couverture se maintient, en particulier, pour la légumineuse en sol dégradé après monoculture de géranium. A une altitude inférieure, le déficit hydrique est beaucoup plus marqué, ainsi que les dégâts de ver blanc, *Hoplochelus marginalis*, qui infeste la zone [23]. Grâce à la couverture dont le système racinaire joue un

rôle de leurre vis-à-vis de sa larve, le rendement est très sensiblement amélioré par rapport au sol nu.

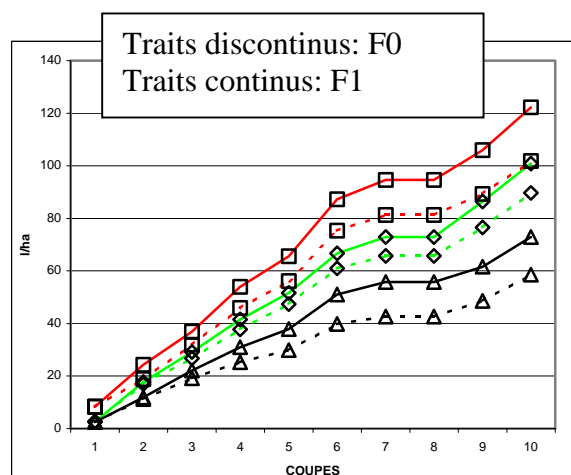
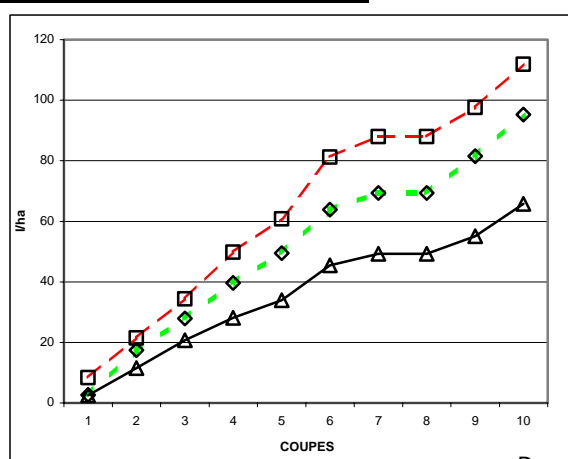
Plus récemment, les expérimentations conduites dans les Hauts du Guillaume ont confirmé une nette augmentation de la production du géranium [20]. Le paille du sol à partir d'une paille de canne à sucre a permis de passer la production annuelle en essence de 35 l/ha (en sol nu) à 80 l/ha sur une parcelle à l'origine fortement dégradée. Une couverture vive de *Stenotaphrum secundatum*, après une période de latence nécessaire à son installation montre de même une augmentation de la production de l'ordre de 50 % après une année d'installation. En ce qui concerne la technique de l'écobuage, Il convient de se référer à l'expérience conduite chez et avec un deuxième agriculteur des Hauts du Guillaume. Cet essai compare les rendements obtenus sur du géranium conduit en rangs jumelés (0, 50 cm entre 2 rangs et 0,70 cm entre les bandes) selon trois facteurs principaux: sol nu, paillage du sol avec paille de canne à sucre, écobuage associé au paillage. Chaque facteur principal a connu deux niveaux de fertilisation: sans fertilisation minérale (FO) et avec la fertilisation minérale préconisée par la fiche technique du géranium (F1). La production en essence a été suivie durant les 10 premières coupes et est traduite sur les figures 16, 17 et 18.

Figure 16: Production en essence obtenue à chaque coupe



Les récoltes correspondant aux coupes 7 et 8 ont été très faibles suite au passage de dépressions tropicales. Dès l'installation du géranium, l'effet de l'écobuage est marqué et les rendements sont triplés. Par la suite, l'effet du paillage du sol sur les deux traitements où il intervient est aussi très marqué. On remarquera que par rapport au paillage seul, l'effet de l'écobuage semble s'estomper après plus 18 mois de culture. De même, après l'accident climatique, tous les traitements avec paillage montrent une reprise nettement supérieure à celle du sol nu.

Figure 17 et 18: Production cumulée en essence suivant les traitements (17) et les niveaux de fertilisation (18)



Sur une année de récolte (5 coupes) les rendements sont augmentés de 35 à 50 % grâce au paillage du sol et de 75 % avec une combinaison d'écobuage et de paillage. Que ce soit avec ou sans écobuage, le paillage du sol sans aucun apport de fertilisation minérale permet d'obtenir des niveaux de production meilleurs que ceux observés sur sol nu fertilisé. Cela confirme le meilleur fonctionnement de ces systèmes de culture se traduisant par une réduction des intrants chimiques. Certes, un apport de paille est nécessaire et il convient de le gérer au niveau de l'exploitation. Les temps de travaux nécessaires pour l'épandage de cette paille, sont, d'une part, largement compensés par le gain de travail au niveau du sarclage (contrôle des adventices par le mulch) et des opérations d'entretien et de récolte (réduction des traitements phytosanitaires, des apports de fertilisation et opérations facilitées grâce aux rangs jumelés). De plus, grâce à l'écobuage, une fumure de redressement et des amendements calcaires et organiques ne sont plus nécessaires.

Enfin, une dernière étude portant sur le contrôle de l'enherbement par les SCV, [36], [37], a montré que la biomasse des parties aériennes de maïs sur les parcelles avec mulch de paille d'avoine augmentait de 60% par rapport aux sols nus.

7.2. LUTTE CONTRE L'EROSION

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

Mais parmi les différents paramètres déterminant l'érodibilité des sols, la couverture du sol est le plus important. La présence d'une couverture herbacée continue sur le sol permet un contrôle total de l'érosion. Elle protège les agrégats en surface de l'action déstabilisante des gouttes de pluies et diminue très fortement le transport de particules solides [58], [70], [71].

7.3. CONSERVATION DE L'EAU

La couverture morte a un effet bénéfique très net sur la plupart des cultures, en particulier celle du géranium, et notamment grâce à une humidité supérieure des horizons supérieurs [58], [V].

La couverture vive assure aussi une meilleure conservation de l'eau si elle est correctement installée et si elle est contrôlée durant la phase de croissance active de la plante cultivée. Elle réduit le ruissellement, et surtout, elle permet un filtrage continu des eaux de surface. Cependant, sous de très fortes intensités de pluies, le ruissellement reste important, et, pour l'absorber, la gestion du sol avec les couvertures doit être complétée par des haies arbustives qui améliorent la conductivité hydraulique. Cet embocagement permet en outre de s'affranchir des dégâts cycloniques.

La couverture augmente très sensiblement l'infiltration de l'eau, mais elle modifie aussi le bilan en saison sèche car elle favorise les précipitations occultes [84].

Durant la phase d'installation de la couverture vive ou si cette dernière est mal contrôlée, une compétition pour l'eau sur la culture principale peut être observée. Dans ce contexte, la mise en place de systèmes mixtes combinant la couverture morte sur les rangs jumelés de la culture et une couverture vive entre les bandes, permet de résoudre ce problème.

7.4. RESTAURATION DE LA FERTILITE DES SOLS

Grâce à la fourniture au sol de résidus organiques qui favorisent l'activité microbienne et la minéralisation, les couvertures mortes participent à la restauration de la fertilité[XIV].

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 par la macrofaune [12] et l'activité racinaire [16]. Leurs caractéristiques physiques et hydriques sont modifiées, en particulier la macroporosité, la stabilité structurale des agrégats, la conductivité hydraulique et la rétention en eau sont augmentées [58], [55], [56]. La création d'un milieu plus aéré permet une activité microbienne intense qui assurerait un recyclage des éléments minéraux.

L'état de la matière organique et l'activité biologique sont les pivots de l'amélioration de la fertilité des andosols. Ceux-ci présentent un taux de matière organique toujours élevé, mais elle est fortement liée aux produits amorphes et est donc inutilisable [73], [XIV]. Les plantes de couverture fournissent des résidus qui favorisent une activité microbienne très élevée, parfois équivalente à celle observée sous friche [34], [XIV]. La minéralisation dont bénéficie la culture est accrue ; les apports de matière organique pourraient être fortement diminués [51], [61], [58].

Dans le cas des associations avec les légumineuses de couverture, la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique pourrait contribuer à enrichir le sol et améliorer la nutrition de la culture. La fixation du 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 [49].

7.5. MODIFICATION DE LA FAUNE PREDATRICE

Des modifications de la faune terricole apparaissent sous couverture végétale et peuvent présenter des inconvénients (prolifération des limaces) et des avantages (vers de terre). Le rôle de leurre racinaire tenu par les couvertures permet de réduire les dégâts du vers blanc (*Holplochelus marginalis*). Les dommages occasionnés par la mouche sur gros genou du haricot (*Ophyomyia phaseoli*) sont de même réduits sous couverture. Enfin, les attaques sur le géranium de *Cratopus humeralis* sont supprimées en association avec le lotier velu qui constitue une plante piège [47].

7.6. EVOLUTION DE LA FLORE ET MAITRISE DE LA COUVERTURE VEGETALE

En présence d'une couverture, la prolifération des mauvaises herbes apparaît réduite, voire contrôlée par le tapis lui-même. Outre les difficultés d'installation (germination, levée et croissance) des adventices dans un couvert végétal dense (semences photosensibles masquées par la litière), certaines plantes de couverture présentent des effets allélopathiques, comme le kikuyu [39], [41]. Cet effet est aussi dépressif sur la levée des graines des cultures et 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 faibles d'herbicides. Il est impératif de ne pas détruire la couverture sous peine de perdre ses effets bénéfiques sur le contrôle des adventices très agressives (*Cyperus rotundus*, *Cyperus esculentus*,...). Par exemple, le kikuyu est maîtrisé par des applications d'un graminicide spécifique, le fluazifop-p-butyl à raison de 60 à 125 g par hectare selon la saison. Des essais thématiques ont permis ainsi de déterminer les matières

actives herbicides efficaces en présence de couvertures de légumineuses. Leur efficacité a été mesurée en termes de sélectivité et de durabilité de leur action [32].

La limitation de l'enherbement par l'effet physique (ombrage) et chimique (allélopathique) des mulch figure parmi les nombreux avantages des systèmes de culture avec couverture végétale.

Une autre étude portant sur le contrôle de l'enherbement par les SCV,[36], [37], comprenait un essai sur le terrain et des expérimentations en serre. Sur le terrain, l'objectif était de vérifier l'effet d'une couverture de parties aériennes d'avoine sur la réduction de l'enherbement et sur la production d'une culture de maïs. Deux notations d'enherbement (en cours du cycle du maïs et après) ont montré que le mulch réduisait le pourcentage de recouvrement par les adventices ainsi que la richesse floristique. Il exerce une sélectivité vis à vis des mauvaises herbes. Certaines comme *Raphanus raphanistrum* ou *Oxalis spp.* prédominent sur les parcelles paillées. D'autres comme *Galinsoga parviflora* sont réduites. D'autres comme *Gamochaeta purpurea* disparaissent. En serre, il s'agissait de vérifier l'effet allélopathique de deux plantes de couverture : l'avoine et la canne à sucre. On s'est attaché à reproduire au mieux les modes d'émission des composés se déroulant sur le terrain : le lessivage de parties aériennes d'avoine et de canne à sucre en décomposition et l'exsudation racinaire d'avoine. Quatre plantes cultivées et quatre adventices ont été utilisées comme plantes cibles. Les expérimentations se sont déroulées sur substrat inerte. Les résultats ont montré que les exsudats racinaires inhibaient la croissance du maïs et certainement celle de *Bidens pilosa*, de *Plantago lanceolata* et de la tomate. Probablement du fait des restitutions minérales, le lessivage de parties aériennes d'avoine en décomposition a stimulé la croissance des plantes cibles. Toutefois, le manque de méthodologie standardisée ne permet pas de comparer ces résultats avec ceux référencés dans la bibliographie.

L'EXTENSION A D'AUTRES ECOLOGIES ET PARTENARIATS

Suite à des demandes spécifiques émanant d'organismes de développement, d'associations d'agriculteurs ou de chercheurs, différentes actions ont été conduites dans d'autres écologies plus chaudes et plus humides. Il s'agit principalement:

- des Hauts de l'Est, en accompagnement de la diversification fruitière (F. Normand, 1994) pour la lutte contre l'érosion et l'enherbement,
- la région du Sud (Petite-île) pour la protection des vergers d'agrumes et des zones de captage de l'eau de la ville (Chambre d'Agriculture),
- la région de Saint-Philippe pour la restauration de la fertilité des sols après défrichage mécanique et la protection contre l'érosion des plantations de palmiste (avec l'Association des paysans de Saint-Philippe).

Différentes interventions ont été réalisées dans le cadre de :

- la fête du Palmiste et du Vacoa de Saint-Philippe,
- la formation des 9 emplois-verts recruté par le CIVAM et en relation avec le CFPPA de Saint-Joseph,
- la formation de groupes d'agriculteurs en formation avec la chambre d'agriculture, les Maisons Familiales et l'A.P.R.,
- diverses visites commentées sur les dispositifs (Université, LEGTA, CFPPA, CFAA, APR).

Suite à une demande de l'association des Paysans de Saint-Philippe et du CIVAM, des actions ont été engagées en relation avec la Chambre d'Agriculture. Les préoccupations des agriculteurs concernaient en premier la restauration de la fertilité des sols suite aux dommages

occasionnés par des défrichements mécaniques. Le recours à la gestion agroécologique des sols et notamment par les semis directs dans des couvertures vives s'est imposé.

Trois essais orientatifs ont été mis en place chez et avec les agriculteurs. Ils nous ont permis de choisir tout d'abord les espèces à retenir pour enherber des plantations de palmistes. L'arachide pérenne en tout premier lieu et le lotier sont retenus pour leur rapidité d'installation. Le *stylosanthes* semble aussi présenter un intérêt dans cette écologie. Les modalités de mise en place (semis ou bouturages) et de protection (ravageurs et adventices) ont été testées et adaptées aux conditions spécifiques du milieu très différent de celui des Hauts de l'Ouest. Un suivi de la croissance du palmiste est en cours d'observation et il ne semble pas montrer d'effet dépressif de la couverture vive sur le palmiste. Le cas échéant différentes modalités de contrôle de la couverture sont analysées (sans contrôle, avec contrôle systématique ou avec contrôle seulement en cas de sécheresse prolongée). Dans la région de Petite-Ile et de l'Entre-Deux, ces mêmes systèmes ont été conduits en grandes parcelles de vergers d'agrumes. Enfin, des expérimentations sur l'impact des diverses techniques de défrichage et des systèmes de culture sur la restauration et le maintien de la fertilité des sols (fertilité et qualité biologique) ont été menées.

Ces activités menées dans un premier temps de façon informelle sont appelées à s'intensifier dans le cadre de la constitution actuelle du réseau local sur l'Agriculture Durable géré par le CIVAM.

Le partenariat se décompose donc ainsi:

Liaisons fortes, travaux en commun : Profession et groupements (A.P.R., O.L.A.T., C.A.H.E.B., U.A.F.P.), Association des Paysans de Saint-Philippe, CIVAM, Association des Paysans Expérimentateurs (Ouest), tous les membres du RADOI.

Liaisons soutenues et échanges : D.A.F.(S.P.V.), Organismes de développement et formations agricoles (S.U.A.D., C.F.P.P.A., A.C.L.E.S., L.E.G.T.A.), Comité Régional Agri-Environnement, Chambre d'Agriculture de Petite-Île, Université, C.L.O.E.

LA FORMATION ET LA COMMUNICATION

Les activités récentes de formation et de communication ont concerné:

- La participation aux diverses réunions pour la constitution d'un réseau réunionnais relatif à l'Agriculture Durable (Association des Paysans de Saint-Philippe, Association pour la Promotion en Milieu Rural, Centre de Formation Permanente pour Adultes, Centre de Formation des Apprentis Agricoles, Centre d'Initiative pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural, Chambre d'Agriculture, FGDEC, Lycées agricoles, Maisons Familiales, Cellule Locale contre l'Erosion, Conseil Régional...).

- Diverses visites et formations : Associations d'agriculteurs, Groupes d'agriculteurs en formation A.P.R., Lycées agricoles et d'enseignement technique et général, Université, membres du RADOI (représentants des Comores, de l'ANAE et TAFA de Madagascar, et représentants d'Afrique du Sud), Chambre d'agriculture, CFA, CFPPA...

- Les formations en salle dispensées auprès des partenaires: APR, Cellule Irrig-Ouest/Antenne 4, FARRE, Lycées Agricoles, Stella Matudina.

- Les dispenses de cours à l'Université (Maîtrise Sciences et Techniques) sur les systèmes de culture.

- L'accueil d'un stagiaire DED (Diplôme d'Etudes Doctorales) de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), « Importance des phénomènes d'allélopathie dans les systèmes de cultures avec couvertures végétales. Impact sur la macrofaune du sol ».

- La participation aux comités de pilotage du RADOI tenus à Mayotte et à la Réunion.

- L'accueil d'un stagiaire en DESS. Importance des mulchs sur la réduction de l'enherbement : effets allélopathiques de l'avoine (*Avena sativa*) et de la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) sur quelques plantes cibles. Stage de DESS de l'Université Paris XII
- L'accueil de stagiaires en provenance de Madagascar: ANAE, TAFa.
- La formation d'un adulte (CFA), d'apprentis (Collège de La Chaloupe-Saint-leu) et de lycéens (LETG/Saint-Paul).
- La participation à différentes conférences et ateliers:
 - Atelier International sur la Gestion Agrobiologique des Sols et des Systèmes de Culture, 1998/03/23-28, Antsirabe, Madagascar.
 - I World congress on conservation agriculture, Madrid, Spain, 1-05 October 2001.
- L'organisation d'un voyage d'étude à Madagascar pour un groupe d'agriculteurs (APR, APE, CIVAM, Agriculteurs de Saint-Philippe).

UN RESEAU REGIONAL AGRICULTURE DURABLE OCEAN INDIEN

[19] Ce présent projet a été réalisé dans le cadre de l'animation du Réseau Agriculture Durable Océan Indien (RADOI) et suite aux propositions du comité de pilotage élargi qui s'est réuni à Mayotte en octobre 1999. Etaient présents des représentants de :

- Afrique du Sud (ARC-Infruitech, ARC-OPI, NDA, Université de Pretoria, Agriculteurs),
- Comores (INRAPE, DECVAS, PDRM, Agriculteurs),
- CIRAD- Métropole (délégation DOM-TOM, Direction Scientifique, Départements Ca et Tera),
- Madagascar (ANAE, TAFa, FAFIALA, FIFAMANOR, FOFIFA, agriculteurs),
- Mayotte (Chambre Professionnelle, DAF, CIRAD, agriculteurs),
- Maurice et Rodrigues (Min. Agric., agriculteurs),
- Réunion (CIVAM et CIRAD),
- Seychelles (Min. Agric.).

Le Réseau Agriculture Durable Océan Indien est né le 27 mars 1998 de la volonté des participants (chercheurs, techniciens, ONGs, Associations d'agriculteurs, bailleurs de fonds) au séminaire international d'Antsirabe (Madagascar) consacré aux thèmes de la gestion agro-écologique des sols et des systèmes de culture en région intertropicale. Un tel besoin émanait du constat de l'inéluctable aggravation de la dégradation des terres, de l'environnement et, plus largement, des conditions de durabilité des exploitations agricoles. Les pays actuellement membres du RADOI sont : l'Afrique du Sud, les Comores, Madagascar, Mayotte, Maurice et Rodrigues, la Réunion et les Seychelles.

Parallèlement, un deuxième constat faisait jour. Chaque pays de la région, pour la plupart en situation insulaire, souffre d'isolement par rapport aux expériences extérieures et d'un manque de moyens l'empêchant de mener seul les recherches adaptatives nécessaires et le développement des innovations.

De plus, l'intérêt des thèmes abordés nécessite une valorisation internationale des activités conduites par une plus large circulation de l'information.

C'est dans ce contexte que le comité de pilotage élargi, réuni à Mayotte en octobre 1999, a proposé le développement d'un système d'information et d'animation du RADOI consacré dans un premier temps aux techniques agro-écologiques. Le Cirad a été désigné comme maîtrise d'ouvrage déléguée du projet.

Le système d'information et d'animation représentant les activités d'un réseau régional a été conçu de façon multilocale avec une Unité Régionale d'animation et un ensemble de sites

satellites nationaux gérés au niveau des Points Focaux. Ces derniers alimentent en informations l'Unité Régionale. Cette méthodologie a pour avantage d'assurer, d'une part, une cohérence globale permettant une présentation et une animation efficace, et, d'autre part, une ressource locale d'information de proximité plus adaptée aux spécificités des demandes des opérateurs.

Il serait donc conçu autour de deux volets principaux :

- Un premier volet « médiatique » de présentation du réseau et de ses activités,
- Un deuxième volet « technique » permettant d'assurer la dynamique des échanges internes.

Trois catégories d'acteurs participeraient et bénéficieraient du projet :

- **Les Institutions et Associations (I.A.)**, dont les premiers membres sont ceux ayant participé au comité de pilotage élargi de Mayotte,
- **Les Points Focaux nationaux (P.F.)**, les Comores, Madagascar, Maurice et Mayotte pour la première phase pilote de 18 mois,
- **L'Unité Régionale (U.R.) implantée à la Réunion**, chargée de mettre en œuvre le projet et de gérer le site (conception, animation et mise à jour).

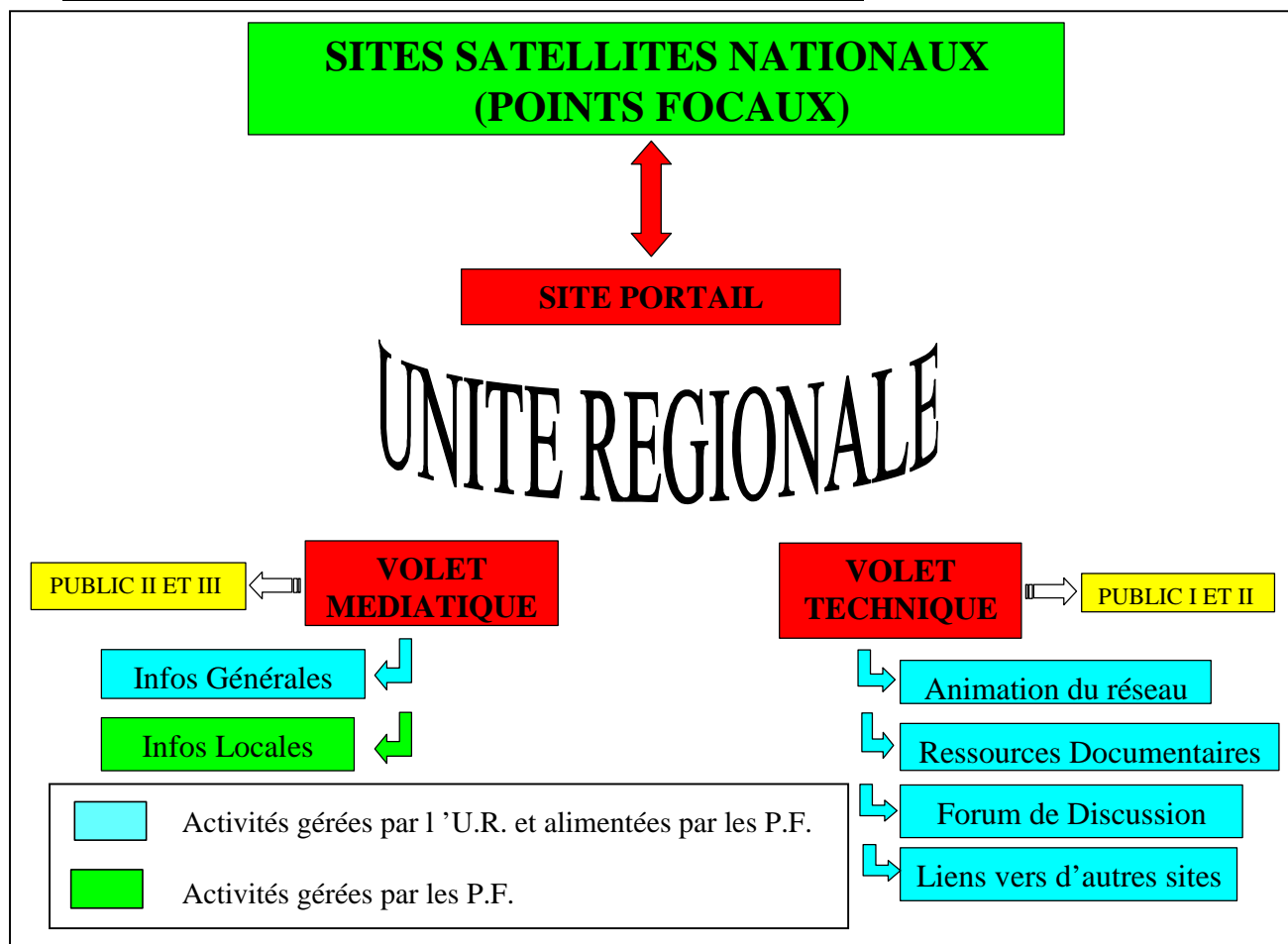
Le public concerné et utilisateur du site est, en premier lieu, le personnel des I.A.. Cependant, l'intérêt des thèmes abordés sous-entend que l'éventail des utilisateurs potentiels dépasse largement ce cadre. Il est ainsi possible de définir trois grandes classes :

- **Public I** : Les chercheurs et responsables de recherche. Cette classe souhaite obtenir des informations détaillées et régulièrement mises à jour sur la vie, les acteurs et les résultats de la recherche agronomique, dans leur institution, dans leur pays, et dans l'ensemble de la région. Elle cherche aussi de l'information à valeur ajoutée sur les produits de la recherche internationale.
- **Public II** : Les utilisateurs des résultats de la recherche, qu'ils soient les opérateurs économiques (producteurs, groupements de producteurs, PME du secteur agricole et agroalimentaire) ou des intermédiaires du développement agricole (vulgarisateurs, ONG...). Ce groupe s'intéresse à des résultats concrets présentés de façon directement exploitable.
- **Public III** : Les professions qui ont besoin d'informations synthétiques sur les dispositifs de recherche et l'exploitation de leurs résultats comme les bailleurs de fonds, les décideurs politiques ou techniques. Ces utilisateurs sont aussi demandeurs de statistiques sur le monde agricole (productions, commerce, approvisionnement en intrants...).

La première phase de mise en œuvre et de validation du système d'information et d'animation régional du RADOI concernera 5 pays membres : les Comores, Madagascar, Maurice, Mayotte et la Réunion. La Réunion a été choisie pour l'implantation de l'UR.

Le schéma général de conception du système d'information et d'animation régional pourrait être le suivant (Figure 19).

Figure 19: Système d'information et d'animation régionale [19]



logique. Dans ce contexte, quatre objectifs globaux et cinq objectifs spécifiques sont proposés. Les activités sont déclinées autour des six résultats attendus.

- **Objectif global a** : Assurer le développement des techniques agro-écologiques en étroite relation avec leurs conditions d'appropriation par les agriculteurs,
- **Objectif global b** : Favoriser les échanges d'informations entre les différents acteurs,
- **Objectif global c** : Positionner la dynamique du Réseau Agriculture Durable Océan Indien dans les différents forums régionaux et mondiaux,
- **Objectif global d** : Assurer la reconnaissance du RADOI auprès des institutions internationales et des bailleurs de fonds.

Objectifs spécifiques

- Mettre en place un système d'information régional au service des différents acteurs du RADOI concernant les techniques agro-écologiques (mise au point des systèmes de culture, choix des espèces de cultivées...) et leurs modalités de mise en œuvre (intrants, matériel végétal, matériel de culture, formation...),
- Mettre en place une dynamique d'échanges et d'appui technique au sein du réseau régional,
- Mettre en place une Unité Régionale de coordination appuyée par des points focaux,
- Développer une coopération régionale,
- Assurer la reconnaissance et la promotion du réseau au niveau local, régional et international (institution et bailleurs de fonds).

Le projet se propose d'atteindre les résultats suivants :

Résultat 1 : Le RADOI dispose d'un système d'information sur ses activités, ses capacités d'animation, son potentiel scientifique, ses résultats et ses partenaires. Ce système est géré et animé par l'Unité Régionale.

Résultat 2 : Un point focal national (P.F.) anime dans chaque pays un réseau fonctionnel d'institutions, gère un site Web national et alimente régulièrement l'Unité Régionale (U.R.) en informations.

Résultat 3 : Le site Web régional sert de passerelle vers les autres serveurs de la région et internationaux et apporte des contenus élaborés spécifiques.

Résultat 4 : Le fonctionnement du système d'information et d'animation repose sur un cadre général d'action durable et respecté par tous les membres.

Résultat 5 : Des produits d'information et de communication sur les activités du RADOI sont élaborés.

Résultat 6 : L'accès aux expertises et aux services régionaux et internationaux est amélioré.

Pour chacun des résultats attendus, les activités suivantes sont envisagées :

Résultat 1 : *Le RADOI dispose d'un système d'information sur ses activités, ses capacités d'animation, son potentiel scientifique, ses résultats et ses partenaires. Ce système est géré et animé par l'Unité Régionale.*

1. Définir les contenus informationnels et les bases de données à charger sur le site.
2. Déterminer la structure qui hébergera le site.
3. Définir les ressources humaines et matérielles nécessaires à l'alimentation du site.
4. Alimenter et mettre à jour le contenu.

Résultat 2 : *Un point focal national (P.F.) anime dans chaque pays un réseau fonctionnel d'institutions, gère un site Web national et alimente régulièrement l'Unité Régionale (UR) en informations.*

1. Créer un réseau d'institutions autour de chaque P.F. et constituer un comité ad hoc.
2. Définir et faire appliquer les standards minima de description des données pour les différentes bases.
3. Assurer la mise à jour sur le site Web de l'UR à partir des données des points focaux.
4. Créer un site Web national satellite du site RADOI.

Résultat 3 : *Le site Web régional sert de passerelle vers les autres serveurs de la région et internationaux et apporte des contenus élaborés spécifiques.*

1. Etablir un plan de travail avec les différents P.F.
2. Définir et faire appliquer les standards minima de description des données.
3. Administrer les bases de données d'intérêt régional.
4. Développer des contenus à valeur ajoutée (annuaires, répertoires, compilations, statistiques).

Résultat 4 : *Le fonctionnement du site repose sur un cadre général d'action durable et respecté par tous les membres.*

1. Faire valider le Cadre général d'action par les autorités de tutelle des institutions parties prenantes du projet.
2. Créer un comité de suivi du site régional présidé par un délégué d'une instance régionale comme la COI ou l'UOI (Université de l'Océan Indien).
3. Programmer les activités de façon conforme aux rôles des différents acteurs définis dans le Cadre général d'action.

Résultat 5 : *Des produits d'information et de communication sur les activités du RADOI sont élaborés.*

1. Elaborer un numéro 0 d'un bulletin d'information sur support numérique qui sera directement accessible sur le site.
2. Elaborer une liste de diffusion prévisionnelle.
3. Diffuser et évaluer le bulletin.
4. Produire un bulletin trimestriel et le diffuser selon une liste ciblée.
5. Mettre en place sur le Web de l'UR une rubrique d'information sur les activités du Réseau RADOI.
6. Etablir des relations avec les médias.
7. Le site UR est référencé dans un maximum de moteurs de recherche Internet.

Résultat 6 : *L'accès aux expertises et aux services régionaux et internationaux est amélioré.*

1. Produire un annuaire des intervenants de la région dans ce domaine d'activités.
2. Produire d'autres types d'annuaires et de répertoires (organisations professionnelles, sociétés de développement, sociétés privées...).
- 3.

CONCLUSION

Les actions conduites à la Réunion ont permis de proposer aux agriculteurs une palette de systèmes agricoles diversifiés et durables prenant en compte le respect de l'environnement. Ils sont basés sur la gestion agrobiologique des sols et intègrent les semis directs dans des couvertures végétales mortes ou vives associées à des aménagements antiérosifs (courbes de niveau, embocagement). Les systèmes les plus performants consistent à une association entre les plantes cultivées et des couvertures vives permanentes. Cependant, ils répondent surtout aux besoins d'éleveurs et supposent un niveau de technicité parfois trop élevé dans le contexte local. C'est pourquoi, en complément, et pour répondre à une plus large demande, des systèmes avec recharge en biomasse ont été étudiés. Ces techniques sont plus proches de celles déjà largement diffusées, les semis directs sur résidus de récolte. Pour ce faire, la recherche bénéficie des travaux conduits antérieurement à la Réunion et, surtout, de travaux conduits dans des régions où ces techniques sont utilisées depuis de nombreuses années (Brésil). Enfin, des échanges au niveau régional (Océan Indien), ont déjà permis une synergie d'action entre des milieux physique et humain largement diversifiés.

L'innovation technique répond en partie aux contraintes des agriculteurs en termes de valorisation de la journée de travail (réduction des coûts de production) et au niveau de la restauration de la fertilité des sols. Cependant, l'innovation pose parfois le problème de son appropriation par les agriculteurs. Il s'agit de passer d'une technique à une pratique, c'est-à-dire d'analyser la manière dont les techniques sont concrètement mises en œuvre dans le contexte de l'exploitation. Ceci suppose que l'innovation s'harmonise avec le projet de l'exploitant, les contraintes et les opportunités spécifiques de son unité de production. L'analyse des pratiques permet ainsi de construire un système de références locales reliant les possibilités d'adaptation d'une technique aux capacités d'appropriation des agriculteurs. Elle fournit également en retour des informations pour ajuster les programmes de recherche destinés à la mise au point des systèmes techniques innovants.

DOCUMENTATION CIRAD/COLIMAÇONS

- [1] ALPHONSE S. – 1998. Etude des effets allélopathiques du mulch de plantes de couverture. Université Montpellier II-CIRAD. Mémoire d'initiation à la recherche, 19 pages + annexes.
- [2] ANSELLEM Y. ; MICHELLON R. - 1994. Herbicides à effet durable sur l'arachide pérenne (*Arachis pintoï*). Fiche d'essai n° 4. La Chaloupe Saint Leu, Réunion, CIRAD-CA, 10 p.
- [3] BLANFORT V., CHABALIER P., CHABANNE A., GUERRIN F., PAILLAT J.M., PERRET S., TASSIN J., 1998. Environnement et forêts. Gestion des espaces et des ressources renouvelables. Magazine CIRAD Réunion. Spécial Rapport Annuel 1997, n. 11, p. 51-55.
- [4] BLANFORT V., CHABALIER P., CHABANNE A., GUERRIN F., PAILLAT J.M., PERRET S., TASSIN J., 1998. Environnement et forêts. Gestion des effluents d'élevage. Magazine CIRAD Réunion. Spécial Rapport Annuel 1997, n. 11, p. 56-57.
- [5] BLANFORT V., CHABALIER P.F., CHABANNE A., GUERRIN F., PAILLAT J.M., PERRET S., TASSIN J., 1998. Environnement et forêts : Gestion des espaces et des ressources renouvelables ; Gestion des effluents d'élevage. Magazine CIRAD Réunion, n. 11, p. 52-58.
- [6] BLANFORT V., CHABANNE A., MICHELLON R., PAILLAT J.M., PERRET S., 1997. Gestion des espaces et des ressources naturelles. Magazine CIRAD Réunion, n. 7, p. 56-58.
- [7] BLANFORT V., TASSIN J., CHABANNE A., PAILLAT J.M., GUERRIN F., CHABALIER P., 1999. Agriculture des Hauts, environnement et forêts. Gestion des espaces et des ressources renouvelables. Magazine CIRAD Réunion, Spécial Rapport Annuel 1998, n. 14, p.29-34.
- [8] BOURGUIGNON C. ; CALLOT G. ; GABUCCI L. ; PERRET S. ; RAUNET M. ; SEGUY L.; MICHELLON R. - 1994. Analyse du fonctionnement hydrique, biologique et microbiologique du sol. CIRAD-CA. Amélioration de la fertilité des andosols de la Réunion et de la productivité des cultures de géranium rosat avec couverture permanente. La Chaloupe Saint Leu, Réunion, CIRAD-CA, pp 16-50.
- [9] BOYER J. - 1998. Interactions biologiques (faune, ravageurs, parasites, microflore) dans des sols sous culture en milieu tropical humide (Ile de la Réunion). Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6, 1998, 114 pages.
- [10] BOYER J., CHABANNE A., 1998. Portrait : La station des Colimaçons. Magazine CIRAD Réunion, n. 13, p. 8.
- [11] BOYER J. ; CHABANNE A. ; SEGUY L. – 2001. Impact of cultivation practices with plant cover on soil macrofauna in Réunion (France). World Congress on Conservation Agriculture, Madrid, 1-5 October 2001, 4 pages.
- [12] BOYER J. ; LAVELLE P. ; MICHELLON R. - 1994. Caractérisation de la faune du sol dans différentes parcelles des hauts de l'Ouest de La Réunion. ORSTOM, CIRAD, La Réunion, France, 18 p.

- [13] BOYER J. ; MICHELLON R. ; CHABANNE A. ; REVERSAT G. ; TIBERE R. – 1999. Effects of trefoil cover crop and earthworm introduction on maize crop and soil organisms in Reunion Island. In *Biology and Fertility of soils* 28, pp. 364-370.
- [14] BOYER J. ; MICHELLON R. ; LAVELLE P. - 1996. Characterisation of soil macrofauna in *Pelargonium asperum* with different management options. 12^e International Colloquium on Soil Zoology, 21-26 Juillet 1996, 236 p.
- [15] BOYER J. ; MICHELLON R. ; REVERSAT G. - 1998. Interactions entre les vers de terre et les nématodes phytoparasites dans diverses cultures de l’Ile de la Réunion. Actes de l’Atelier international : “Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture”. ANAE-CIRAD-FAFIALA-FIFAMANOR-FOFIFA-TAFA, Antsirabe, Madagascar 23-28 mars 1998. pp.323-333.
- [16] BURLE D. - 1993. Effets des couvertures végétales permanentes associées au géranium sur la fertilité des andosols de la Réunion. Mémoire ITA, ENITA-Bordeaux, CIRAD-CA, 49 pages.
- [17] CHABANNE A., 1998. Réseau agriculture durable Océan Indien. Première réunion du comité de pilotage à Saint-Philippe du 7 au 12 août 1998. Magazine CIRAD Réunion, n. 13, p. 7.
- [18] CHABANNE A., 1998. La gestion agrobiologique des sols. Voyage d’étude et atelier international, Madagascar, 23 au 28 mars 1998. Magazine CIRAD Réunion, n. 10, p.5 (1 p.). Atelier International sur la Gestion Agrobiologique des Sols et des Systèmes de Culture, 1998/03/23-28, Antsirabe, Madagascar.
- [19] CHABANNE A., BAUDU M., 2000. Proposition de développement d’un système d’information et d’animation du Réseau Agriculture Durable Ocean Indien. Système d’information et d’animation régionale. 23 p.
- [20] CHABANNE A., BOYER J., MICHELLON R., SEGUY L., 2001. Impacts des couvertures végétales sur la production de *Pelargonium x Asperum* et sur la biologie du sol (macrofaune) à l’Ile de La Réunion (Département Outre-Mer français). In : I World congress on conservation agriculture, Madrid, Spain, 1-05 October 2001. s.l., France, s.n., 4 p. World Congress On Conservation Agriculture. 1, 2001/10/01-05, Madrid, Espagne.
- [21] CHABANNE A., MICHELLON R., NORMAND F., 1997. Systèmes diversifiés durables pour les Hauts. Magazine CIRAD Réunion, n. 7, p. 26-27.
- [22] CHABANNE A., MICHELLON R., PERRET S., PIRAUX M., SIBELET N., TASSIN J., 1997. Appui à l’innovation et au développement local dans les Hauts. Magazine CIRAD Réunion, n. 7, p. 28-30.
- [23] CHABANNE A. ; MICHELLON R. ; SEGUY L. ; TECHER P. - 1998. La conception de systèmes agricoles durables à base de semis direct dans des couvertures végétales pour les Hauts de l’Ouest à la Réunion. Actes de l’Atelier international : “Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture”. ANAE-CIRAD-FAFIALA-FIFAMANOR-FOFIFA-TAFA, Antsirabe, Madagascar 23-28 mars 1998. pp.239-248.

- [24] CHABANNE A., NORMAND F., BOYER J., 2001. Agriculture durable, environnement et forêt. Diversification et systèmes de culture avec couverture végétale. Magazine CIRAD Réunion. Rapport Annuel 2000, n°17., p. 30-32.
- [25] CHABANNE A., NORMAND F., PERRET S., PIRAUX M., 1998. Agriculture des Hauts. Systèmes diversifiés durables pour les Hauts. Magazine CIRAD Réunion, n. 11, p.26-30.
- [26] CHABANNE A., PAILLAT J.M., NORMAND F., PIRAUX M., FUSILLIER J.L., 1999. Agriculture des Hauts, environnement et forêts. Systèmes diversifiés durables pour les Hauts. Magazine CIRAD Réunion. Spécial Rapport Annuel 1998, n. 14, p.23-28.
- [27] CHABANNE A., PIRAUX M., 1997. Les Hauts de l'Ouest, un dispositif de recherche innovant pour des systèmes de production durables. Magazine CIRAD Réunion, n. 9, p. 6-7.
- [28] CHABANNE A., PIRAUX M., 1999. Le pôle agriculture durable, environnement et forêt. Montpellier, France, CIRAD-CA, [45] p.
- [29] CHABANNE A. ; SEGUY L. – 2002. Les systèmes de culture avec couverture végétale. Importance de la biomasse dans les SCV. Document CIRAD-CA-GEC, janvier 2002, 124 pages.
- [30] COURCOL C. - 1987. Les systèmes de culture intercalaire du géranium rosat dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion. IRAT-Réunion :ENSAA, 110 pages + annexes.
- [31] DA SILVA NETO M. - 1996. Appropriation et Adaptation des techniques agroécologiques dans les Hauts de l'Ouest (Réunion). Mémoire CNEARC/CIRAD-CA, 62 p. et annexes.
- [32] DEJANTE P. ; MICHELLON R. ; VINCENT G. - 1991. Essai d'herbicides sur légumineuses de couverture. CIRAD-Réunion, fiche n° 1, 19 pages + annexes.
- [33] 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, 21 pages.
- [34] 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 pages.
- [35] DUCREUX A. ; GALLO J.-Y. ; MICHELLON R. ; NARANIN L. - 1994. Test de matériel de semis direct importé du Brésil. Fiche d'essai n° 5, 1994. CIRAD-Réunion, 1994, 11 pages.
- [36] EVENO M.E. – 2000. Importance des phénomènes d'allélopathie dans les systèmes de culture avec couvertures végétales. Impact sur la macrofaune du sol. Rapport de stage de DED (Diplôme d'Etudes Doctorales) de l'Université Pierre et Marie Curie (Paris VI). Octobre 1999 à juin 2000. Doc. CIRAD.
- [37] EVENO M.E. – 2001. Importance des mulchs sur la réduction de l'enherbement : effets allélopathiques de l'avoine (*Avena sativa*) et de la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) sur quelques plantes cibles. Rapport de stage de DESS de l'Université Paris XII Val de Marne. CIRAD/CA. 55 pages + Annexes.

- [38] EVENO M.E., CHABANNE A., 2001. Les effets allélopathiques de l'avoine (*Avena sativa*) sur différentes mauvaises herbes et plantes cultivées. In : Dix-huitième conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 5-6-7- décembre 2001, Toulouse, France. Paris, France, AFPP, p. 1169-1176. Conférence du COLUMA : Journées Internationales sur la Lutte Contre les Mauvaises Herbes. 18, 2001/12/05-07, Toulouse, France. AFPP Annales
- [39] FONTAR X. ; THOMAS L. - 1992. Etude des effets allélopathiques d'une couverture de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) sur géranium, cultures vivrières et certaines plantes adventices. ESA/CIRAD-Réunion, 103 pages + annexes.
- [40] GUILLUY D. ; PERRET S. - 1991. Effets de couvertures permanentes sur la porosité d'andosols cultivés. Note technique 02/91. CEEMAT-LAGEPHY, Réunion, 14 pages + annexes.
- [41] HUMEAU L. - 1993. Etude des effets allélopathiques du kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) sur la tomate (*Lycopersicon esculentum* M.) et deux plantes adventices : *Cyperus rotundus* L. et *Bidens pilosa* L. Université de la Réunion, CIRAD-Réunion, 24 pages + annexes.
- [42] LHERITEAU F. - 1996. Influence de couvertures de Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) et lotier (*Lotus uliginosus*) sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des andosols. Doc. CIRAD, juin 1996, 63 pages.
- [43] MICHELLON R. - 1988. Amélioration des systèmes de culture à base de géranium. Rapport d'activité, IRAT-Réunion, 7 pages.
- [44] MICHELLON R. - 1989. Plantes de couverture et travail minimum du sol en zone géranium. Rapport annuel, IRAT-Réunion, pp. 103-109.
- [45] MICHELLON R. - 1992. Gestion des sols et des cultures avec couverture végétale. Rapport intermédiaire CIRAD/IRAT-Réunion, 17 pages.
- [46] MICHELLON R, 1992. Les systèmes de culture. In : Le géranium à la Réunion. C.A.H., Saint-Denis, Réunion, Gra.phica, p 15-22.
- [47] MICHELLON R. - 1996. Modes de gestion écologique des sols et systèmes de culture à base de géranium dans les hauts de l'ouest de la Réunion. CIRAD-CA programme APAFP n°47-96. CIRAD-CA Montpellier, France 103p.
- [48] MICHELLON R.; ANSELLEM Y. - 1993. Essai d'herbicides sur l'arachide pérenne (*Arachis pintoi*). Rapport CIRAD-CA, La Réunion, 23p.
- [49] MICHELLON R. ; ANSELLEM Y. ; NARANIN L. - 1994. Réduction des fumures grâce aux légumineuses de couverture. Fiche d'essai n° 2. La Chaloupe Saint Leu, Réunion, CIRAD-CA, 10 p.
- [50] MICHELLON R. ; BRIDIER B. - 1988. Evolution d'un programme de recherche sur les systèmes d'exploitation des Hauts de l'Ouest de la Réunion. L'Agronomie Tropicale, 43 (4), pp. 317-325.

- [51] MICHELLON R. ; DEJANTE P., VINCENT G. - 1992. Implantation de couvertures avec des cultures vivrières : aspects techniques et économiques. CIRAD, La Réunion, France, CIRAD-IRAT-Réunion n° 1, 14 p. + annexes.
- [52] 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.
- [53] MICHELLON R. ; HEBERT A. ; GARIN P. - 1986. Tests par les agriculteurs de nouvelles techniques de culture du géranium dans les Hauts de l'Ouest. Fiche d'essai IRAT-Réunion, n° 24, 16 pages
- [54] MICHELLON R. JEANNE J. - 1990. Introduction du riz pluvial dans les systèmes de culture des Hauts de l'Ouest. CIRAD, La Réunion, France, fiche d'essai CIRAD-IRAT n 2, 12 p.
- [55] MICHELLON R. ; PERRET S. - 1994. Gestion des sols et des cultures avec couverture végétale. Document CIRAD, septembre 1994, 29 pages.
- [56].MICHELLON R. ; PERRET S. - 1996. Conception de systèmes agricoles durables avec couverture herbacée permanente pour les Hauts de la Réunion. In actes du Symposium international recherches-systèmes en agriculture et développement rural, Sébillotte M. (Editeur), communications 1008 p., supplément 48 p. conférences et débats 476 p., cédérom, Montpellier, France 21-25 novembre 1994, CIRAD-SAR, Montpellier, France p.507-508.
- [57] MICHELLON R. ; RASSABY A. - 1985. Comportement de l'avoine en culture ou en association dans les Hauts sous le vent. Saint-Denis, Réunion, CIRAD-IRAT, 11 p.
- [58] MICHELLON R. ; SEGUY L. - 1996. Les différents systèmes de gestion des cultures. Amélioration de la fertilité des andosols de la Réunion et de la productivité des cultures de géranium rosat avec couverture permanente. La Chaloupe Saint-Leu, Réunion, CIRAD-CA, pp.1-15, réf. 3 tabl., 3 graph.
- [59] MICHELLON R. ; SEGUY L. ; PERRET S. - 1995. Association de cultures maraîchères et du géranium rosat à une couverture de kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) maîtrisé avec le fluazifop-p-butyl. ANPP Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes. Paris, France ANPP pp. 369-376, réf. 4, 4 tabl., 3 graph. Annales ANPP. Conférence du Columa : Journées Internationales sur la Lutte contre les Mauvaises Herbes. 15 1995/12/04-08 Reims.
- [60] MICHELLON R. ; SEGUY L. ; PERRET S. - 1996. Géranium rosat : conception de systèmes durables avec couverture herbacée. 15^e Journées Internationales Huiles Essentielles, APPAM, Digne les Bains, 5-7 Septembre 1996, 14 p.
- [61] MICHELLON R. ; TECHER P. - 1996. Gestion agrobiologique des sols : guide pour la mise en place d'itinéraires techniques dans les Hauts sous le vent de la Réunion. Réunion, CIRAD-CA, 24 p. réf., tabl.
- [62] MICHELLON R. ; VINCENT G. ; NATIVEL R. - 1994. Gestion d'une couverture de lotier (*Lotus uliginosus*) associée au géranium rosat. CIRAD, La Réunion, fiche n 9/94.
- [63] MICHELLON R. ; TECHER P. - 1996. Le Kikuyu, plante fourragère et de couverture. Doc. CIRAD-CA, mars 1996, 24 pages.

[64] MONIMEAU A. - 1991. Travail minimum avec couverture permanente du sol dans les systèmes de culture à base de géranium des Hauts de l'Ouest de la Réunion. Mémoire D.A.T.-CNEARC/CIRAD, 95 pages + annexes.

[65] NORMAND F. - 1998. Les couvertures végétales vives en zones humides à l'Ile de la Réunion. Actes de l'Atelier international : "Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture". ANAE-CIRAD-FAFIALA-FIFAMANOR-FOFIFA-TAFA, Antsirabe, Madagascar 23-28 mars 1998. pp.215-224.

[66] PERRET S. - 1998. Evaluation de techniques agrobiologiques pour la réhabilitation du sol et le contrôle de l'érosion à la Réunion. Actes de l'Atelier international : "Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture". ANAE-CIRAD-FAFIALA-FIFAMANOR-FOFIFA-TAFA, Antsirabe, Madagascar 23-28 mars 1998. pp.311-321.

[67] PERRET S. ; MICHELLON R. ; BOYER J. ; TASSIN J. - 1996. Soil rehabilitation and erosion control through agro-ecological practices on Réunion Island (French Overseas Territory, Indian Ocean). In ; Sustainable Management of Tropical Catchment.

[68] PERRET S. ; MICHELLON R. ; BOYER J. ; TASSIN J. - 1999. Agroecological practices as tools for sustainable management of erosion-exposed tropical catchments : quantifying their effects on soil restoration and erosion control on Reunion Island (French Overseas Territory, Indian Ocean). Agriculture Ecosystems and Environment, n° 59, pp. 149-157., ill. Réf.

[69] PERRET S. ; MICHELLON R. ; DOREL M. - 1995. Relations entre fertilité des andosols et systèmes de culture : exemples en milieux insulaires volcaniques. In : Actes du séminaire Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides, Montpellier, 13-17 Novembre 1995, p. 63-67.

[70] PERRET S. ; MICHELLON R. ; TASSIN J. - 1994. Soil loss control properties improvement based on cropping systems with cover plants and hedgerows in Réunion Island. In Proceeding 3rd ESA Congress, 18-22 septembre 1994, Abano-Padova, Italie, p. 736-737.

[71] PERRET S. ; MICHELLON R. ; TASSIN J. - 1998. Agroecological practices as tools for sustainable management of catchments susceptible to erosion : Reunion Island, pp. 77-88, in « Harper and Brown (Ed), 199 : the sustainable management of tropical catchments. J. Wiley and sons, Chichester, UK, 381 pages ».

[72] PIRAUX M., CHABANNE A., 1999. Atelier de travail sur l'agriculture et le développement durables lors de la fête du palmiste et du Vacoa à Saint-Philippe. Cirad Réunion Magazine, n. 15, p. 7-7.

[73] RAUNET M. - 1997. Promotion d'un réseau régional sur l'agrobiologie et le semis direct dans les Iles du Sud-Ouest de l'Océan Indien. Rapport de mission du 9 juin au 2 juillet 1997, confidentiel. Document CIRAD, Montpellier, 46 pages + annexes.

[74] SEGUY L. - 1988. Notes techniques d'appui au programme de recherches des Hauts de l'Ouest de la Réunion. IRAT-Réunion, 12 pages.

[75] SEGUY L. - 1992. Mission d'appui technique au programme de conservation et de gestion des sols et des cultures dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion du 27 mars au 2 avril 1992. Document CIRAD, 17 pages.

[76] SEGUY L. - 1994. Mission d'appui technique au programme de conservation et de gestion des sols et des cultures dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion. Mission du 9 au 17 avril 1994. Document CIRAD, 11 pages + annexes.

[77] SEGUY L. - 1995. Notes d'appui technique au programme de conservation et de gestion des sols et des cultures dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion. Mission du 1^{er} au 7 avril 1995. Doc. CIRAD, 11 pages.

[78] SEGUY L. - 1997. Rapport de mission à la Réunion. Notes techniques d'appui au programme « systèmes de culture diversifiés en semis direct sur couvertures mortes et vives », dans les Hauts de l'Ouest de l'Ile de la Réunion. Mission du 4 avril au 10 avril 1997. Document CIRAD, 13 pages + annexes.

[79] SEGUY L. - 1998. Notes techniques d'appui au programme « Systèmes de culture diversifiées en semis direct sur couvertures mortes et vives », dans les Hauts de l'Ouest de l'Ile de la Réunion. Mission du 30 mars au 4 avril 1998. Document CIRAD, 7 pages + annexes.

[80] SEGUY L. - 2000. Notes techniques sur le programme de recherche-action des Hauts de l'Ouest de l'Ile de la Réunion. Document CIRAD, avril 2000, 7 pages.

[81] SIGALAS V. - 1992. Etude sur l'intégration de l'agroforesterie et des plantes de couverture dans les systèmes de production des Hauts de l'Ouest de la Réunion. Mémoire DAA, ENSAIA/CIRAD, septembre 1992, 30 pages + annexes.

[82] TURLAN T. - 1993. Essais de roue semeuse poussée manuellement. Doc. CIRAD-SAR, Réunion, 9 pages.

[83] VALLEE G., PIRAUX M., CHABANNE A., 1999. Compte-rendu du séminaire CIRAD-RADOI à Mayotte. Magazine CIRAD Réunion, n. 16, p. 10 (1 p.). Séminaire CIRAD-RADOI, 1999/10/25-29, Mayotte, Mayotte.

[84] VEILLET S. - 1993. Etude de l'évolution de l'état hydrique d'un andosol selon différents systèmes de culture (La Réunion). Mémoire DAA, ENSAM/CIRAD, 55 pages.

BIBLIOGRAPHIE EXTERNE

- [I] BOSCHER M., PERRET S., 1996. La diversification dans les Hauts de Saint-Paul (Réunion). Analyse des situations agricoles et stratégies de gestion des risques climatiques et de la mise en marché. CIRAD Sar, num. 132/96, décembre 1996, 83p et annexes.
- [II] BOUGERE J., 1988. Aperçu sur l'érodibilité des andosols cultivés à la Réunion. In : CIRAD, 1988 : Les andosols de l'île de la Réunion. Séminaire de Saint-Denis, 24 mai-1^{er} juin , p 157-162. CIRAD-CNRS-INRA-ORSTOM-Université.
- [III] CHOU C.H., CHANG S.J., CHEUG C.M., HSU F.H., DEN W.H., 1989. The selective allelopathic interaction of a pasture-forest intercropping in Taiwan. II. Interaction between kikuyu grass and the three hardwood plants. *Plant and Soil* 116 : 207-215.
- [IV] CHOU C.H., 1992. Allelopathy in relation to agricultural productivity in Taiwan : problems and prospects. In : *Allelopathy : Basic and applied aspects*. RIZVI S.J.H. and RIZVI V. Chapman & Hall (Eds) : 179-203.
- [V] 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.
- [VI] FARGIER Y, PERRET S, LEGAL P.Y., 1996. La gestion de l'eau d'irrigation en conditions de ressource limitée (retenues collinaires). Analyse des pratiques et propositions d'outils d'aide à la décision pour les exploitations des Hauts de la Réunion. CIRAD Sar, num 161/96, décembre 1996, 59 p et annexes.
- [VII] GUILLUY D., 1994. L'agriculture des Hauts de l'Ouest, bilan et propositions. APR, CAH, 28p.
- [VIII] HARGROVE W.L.Ed., 1991. Covercrops for clean water. Ankeny, U.S.A., Soil and Water Conservation Society, 198 p.
- [IX] 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.
- [X] MONEGAT C., 1991. Plantas de cobertura do solo : características e manejo em pequenas propriedades. Chapeco, Brésil, Monegat Ed., 337p.
- [XI] NORMAND F., 1994. Rapport technique annuel. CIRAD/FLHOR-Réunion, 94 p.
- [XII] PERRET S., 1992. Processus de dégradation et d'érosion des sols dans les Hauts et restauration par des systèmes conservatoires à base de couvertures. Rapport annuel CIRAD/Réunion. P 64-65.
- [XIII] PERRET S., 1993. Etude des propriétés physiques, hydriques et mécaniques de sols andiques de la Réunion. Facteurs naturels et anthropiques d'évolution des horizons cultureux, implications agronomiques et écologiques. Thèse de doctorat, ENSA Montpellier / CIRAD, num 01/93, 278p et annexes.

[XIV] PY F., CLARIOND A., 1989. Etudes des relations entre stock organique, stabilité structurale et activité microbienne. D.A.A. ENSAT/IRAT-Réunion, 103 p.

[XV] 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.

[XVI] SEGUY L., 1993. Os sistemas de culturas para a regio do médio norte do Mato Grosso. Recomendacaos tecnicas. CIRAD, C.L., RHODIA, Brésil, 34 p.

[XVII] TRENBATH B.R., 1976. Plant interaction in mixed-crop communities. In: ASA et al, Multiple Cropping, p 129-169.

ANNEXES

Pages

- II:** CHABANNE A., MICHELLON R., SEGUY L., TECHER P., 1999. La conception de systèmes agricoles durables à base de semis direct dans des couvertures végétales pour les Hauts de l'Ouest à la Réunion. In : Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture. Montpellier, France, CIRAD, p.239-248. Atelier International sur la Gestion Agrobiologique des Sols et Systèmes de Culture, 1998/03/23-28, Antsirabe, Madagascar. Colloques / CIRAD
- XVII:** CHABANNE A., BOYER J., MICHELLON R., SEGUY L., 2001. Impacts des couvertures végétales sur la production de *Pelargonium x Asperum* et sur la biologie du sol (macrofaune) à l'Ile de La Réunion (Département Outre-Mer français). In : I World congress on conservation agriculture, Madrid, Spain, 1-05 October 2001. s.l., France, s.n., 4 p. World Congress On Conservation Agriculture. 1, 2001/10/01-05, Madrid, Espagne.
- XXII:** BOYER J. ; CHABANNE A. ; SEGUY L. – 2001. Impact of cultivation practices with plant cover on soil macrofauna in Réunion (France). In : I World congress on conservation agriculture, Madrid, Spain, 1-05 October 2001. s.l., France, s.n., 4 p. World Congress On Conservation Agriculture. 1, 2001/10/01-05, Madrid, Espagne.
- XXVI:** EVENO M.E., CHABANNE A., 2001. Les effets allélopathiques de l'avoine (*Avena sativa*) sur différentes mauvaises herbes et plantes cultivées. In : Dix-huitième conférence du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, 5-6-7- décembre 2001, Toulouse, France. Paris, France, AFPP, p. 1169-1176. Conférence du COLUMA : Journées Internationales sur la Lutte Contre les Mauvaises Herbes. 18, 2001/12/05-07, Toulouse, France. AFPP Annales
- XXXXIV:** Planches photographiques

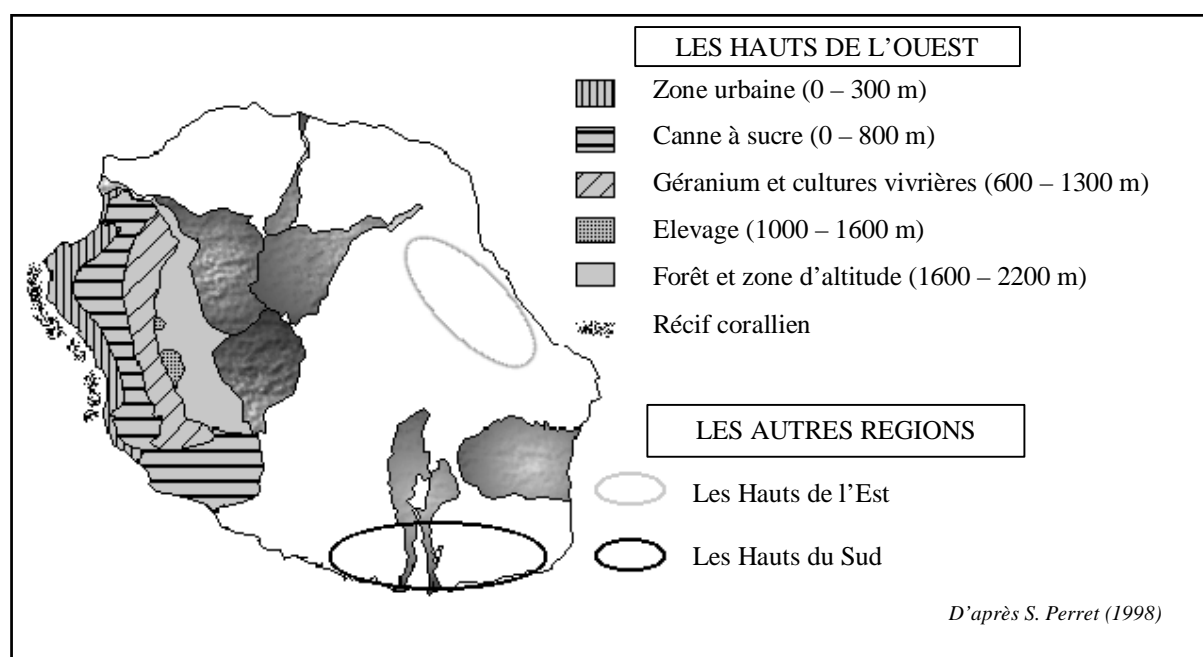
LA CONCEPTION DE SYSTEMES AGRICOLES DURABLES A BASE DE SEMIS DIRECT DANS DES COUVERTURES VEGETALES POUR LES HAUTS DE L'OUEST A LA REUNION

Chabanne A.¹, Michellon R.², Séguy L.³, Técher P.¹

Résumé : Dans les hauts de l'Ouest de la Réunion, la production agricole se heurte à de fortes contraintes physiques (climatiques, morpho-pédologiques), humaines et économiques. Les efforts récents de diversification et d'intensification ont permis la conception de nouveaux systèmes de cultures permettant de répondre en partie à ces contraintes.

L'amélioration de la productivité du travail, la protection des sols contre l'érosion et la restauration de leur fertilité nécessitent une gestion agrobiologique des systèmes de culture. Celle-ci repose sur la suppression du travail du sol et sur sa protection par une couverture végétale vive (permanente) ou constituée de résidus et pailles (temporaire). Dans ces conditions, les composantes de la fertilité des sols sont reconstituées de façon durable, sur le plan physico-chimique et sur leur activité micro et microbiologique. Ces orientations permettent alors une utilisation plus raisonnée, et donc réduite, des intrants chimiques, ainsi qu'une réduction des temps de travaux. La réponse qu'elles apportent à la demande des agriculteurs permet de satisfaire aussi les exigences de l'ensemble de la population en ce qui concerne l'environnement : protection des infrastructures contre les dégâts cycloniques, diminution des facteurs de pollution (qualité des productions agricoles, eau de consommation, lagon), diminution de l'ensablement du lagon et amélioration du paysage (aspect touristique).

Les travaux de recherche antérieurs et en cours permettent de proposer une large gamme de systèmes de cultures correspondant à des niveaux de technicité différents. Ils intègrent à la fois les cultures des filières traditionnelles (canne à sucre et géranium) et les cultures de diversification (vivrières, maraîchères, fruitières et petits élevages).



¹ CIRAD/CA - La Réunion

1. L'AGRICULTURE DANS LES HAUTS DE L'OUEST ***UNE AGRICULTURE EN EVOLUTION***

Les Hauts de l'Ouest de l'île de la Réunion couvraient en 1989 une surface agricole utile d'environ 7000 ha (12 % du total) et rassemblaient près de 2000 exploitations. Cette zone est reconnue comme prioritaire dans le cadre du Schéma d'Aménagement Régional. Elle est notamment confrontée à l'exode de la population vers les Bas et connaît un taux de chômage très élevé (47 %). En aménageant l'espace, en maintenant la population, en instituant une identité à la zone et en générant une activité économique, l'agriculture reste le pivot de la zone (20 % des emplois). Cependant, elle se heurte à de nombreuses contraintes tant historiques qu'économiques ou morpho-pédo-climatiques qui freinent son dynamisme (Fargier *et al.*, 1996).

Pour conforter leurs exploitations et atteindre leurs objectifs, les agriculteurs s'orientent souvent vers la diversification. Elle consiste à l'abandon partiel ou total des deux cultures de rente traditionnelles que sont le géranium et la canne à sucre. Elle englobe les productions vivrières et horticoles au sens large (fleurs, fruits, légumes) et l'élevage. La diversification animale repose le plus souvent sur des filières organisées et soutenues (bovins, poulets, porcs). La diversification végétale apparaît encore "marginale" ou hésitante, risquée, le plus souvent mal comprise par les acteurs extérieurs, et parfois perçue comme concurrente de la première production de la zone : la canne à sucre (Fargier *et al.*, 1996).

Malgré les incertitudes qui caractérisent les activités agricoles dans l'ensemble des Hauts de l'Ouest, des enjeux importants les sous-tendent : le maintien de l'emploi et l'aménagement de l'espace. La diversification horticole associée au petit élevage et la canne à sucre semblent constituer les systèmes les plus durables capables de répondre à ces enjeux une perspective intéressante. Ils nécessitent cependant un désenclavement et l'organisation des marchés, une meilleure technicité et gestion des ressources naturelles, la restauration et le maintien de la fertilité des sols associés à une lutte antiérosive, ainsi que l'implication des filières. (Boscher et Perret, 1996).

LES PRODUCTIONS

Conséquence du contexte physique et des politiques de développement, les productions agricoles suivent une stratification altitudinale. De 400 m à 900 m s'étend la canne à sucre. Le géranium et la polyculture-élevage prédominent entre 800 m et 1200 m. L'élevage bovin initialement au dessus de 1200 m s'étend aujourd'hui dans les zones plus basses. Les productions maraîchères s'observent de 700 m à 1200 m.

Depuis la fin du XIX^{ème} 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 de l'économie de l'île a entraîné une mutation profonde des systèmes de culture à base de géranium. La culture itinérante traditionnelle s'est progressivement sédentarisée. L'abandon de la jachère, qui assurait la restauration de la fertilité depuis un demi-siècle, a entraîné, en l'absence de changement notable d'itinéraire technique, une forte baisse des rendements, accompagnée d'une prolifération des adventices et maladies (Michellon, 1996).

Haricot, maïs, pomme de terre, tomate sont alors devenus les productions dominantes de la zone. Elles bénéficient souvent d'une relative technicité et du savoir-faire des producteurs, malgré la faiblesse des niveaux d'intrants et le risque climatique. Une grande variété de productions côtoie ces cultures : solanées (piment, aubergine...), cucurbitacées (citrouille, concombre, christophine...), de crucifères (chou, chou-fleur) et composées (artichaut, laitue).

² CIRAD/CA - Madagascar

³ CIRAD/CA - Brésil

La floriculture semble attirer de nouveaux agriculteurs. L'arboriculture fruitière présentent une grande variété avec des productions intensives (fraise, ananas) ou extensives (agrumes, pêches, bananiers, goyaviers).

DE FORTES CONTRAINTES NATURELLES

Le climat

La Réunion est soumise à un climat tropical austral à deux saisons tranchées :

- une saison chaude et humide de décembre à avril inclus, influencée par les courants de mousson du nord-est. Pendant cette période, ce sont les dépressions tropicales, dont certaines évoluent en cyclones, qui sont responsables de la plus grande partie du total pluviométrique et conditionnent la grande variabilité inter-annuelle observée.
- une saison fraîche et sèche de mai à novembre. Les pluies présentent alors une certaine constance inter-annuelle, car elles sont de nature orogénique. L'humidité des alizés (Est-Sud-Est) se condense sur la masse nuageuse de l'île.

La Réunion détient de nombreux records mondiaux en matière de précipitations, en quantité et en intensité. Lors de ces très fortes pluies, une grande partie de l'eau ne s'infiltrer pas, ruisselle en surface et entraîne des particules de terre. C'est l'érosion pluviale qui provoque des dégâts importants :

- dans l'écosystème récifal, par des apports de terre qui envasent le lagon,
- sur les infrastructures (routes et habitations) détériorées par les coulées boueuses,
- et surtout sur les parcelles agricoles.

Les sols

Les coulées de lave de la phase IV du Piton des Neiges sont recouvertes d'un manteau cendré récent. C'est l'évolution progressive des cendres en fonction du climat qui conditionne la répartition altitudinale des différents sols de la zone (Raunet, 1991; Guilluy, 1994). Les hauts de l'Ouest se situent sur des andosols désaturés perhydratés chromiques sur cendres, ou des sols bruns andiques. Quelques caractéristiques générales de ces andosols peuvent être soulignées (Perret, 1993) :

- sols épais non pierreux,
- horizon cultural mince assez bien structuré,
- horizon d'altération B massif et microporeux, occasionnant des difficultés de pénétration racinaire et présentant une faible conductivité hydraulique,
- très forte sensibilité à l'érosion (faible perméabilité, pente souvent forte de 10 % à 20 % en moyenne, microgranulation hydrophobe en surface),
- moyennement acides à acides,
- fertilité relativement faible pour les andosols (blocage du phosphore), intéressante pour les sols bruns andiques.

Les pertes en terre dues à l'érosion sont en moyenne de 20 tonnes (ha/an) mais elles peuvent atteindre de 50 à 200 tonnes selon les conditions pluviométriques (Bougère, 1988; Perret, 1992; Perret *et al*, 1994). C'est pourquoi, la lutte contre ce fléau est reconnue comme une priorité par les collectivités locales. Les agriculteurs sont conscients des dégâts occasionnés à leurs sols et sont de plus en plus réceptifs aux solutions qui leur sont proposées, quand celles-ci sont compatibles avec leurs systèmes de culture, leurs contraintes et leurs stratégies.

LES CONTRAINTES SOCIO-ECONOMIQUES

Outre les contraintes naturelles, les conditions sociales et culturelles, les équipements et l'enclavement, le niveau de formation et l'âge des exploitants (Da Silva, 1996), les statuts fonciers constituent souvent des handicaps spécifiques. Ainsi, si certaines zones

sont insérées dans des dynamiques de filières, les secteurs de polyculture et petit élevage sont très hétérogènes et subissent actuellement de fortes mutations.

Enfin, la trésorerie de certains exploitants est très limitée, ce qui handicape fortement leur marge de manoeuvre. Les revenus agricoles sont souvent faibles et minoritaires dans le revenu familial (transferts sociaux, économie parallèle) (Fargier *et al*, 1996).

LA PROBLEMATIQUE DE LA RECHERCHE

Les effets néfastes engendrés par la monoculture de rente du géranium et leurs conséquences sur l'exode rural ont conduit à la mise en place du Plan d'Aménagement des Hauts (1983). L'intervention de la recherche agronomique s'inscrit dans le cadre des orientations définies. Ses objectifs comportent en effet :

- le développement agricole de la zone, grâce à la confortation des productions traditionnelles et à une diversification des cultures destinés au marché local (vivrières, maraîchères, élevages);
- la protection de l'environnement et, en particulier la défense et la restauration des sols.

Pour apporter des solutions compatibles avec les pratiques et les contraintes des agriculteurs, une démarche de recherche appliquée originale a été mise en œuvre. Des systèmes de production diversifiés, élaborés avec les agriculteurs, les formateurs et les techniciens agricoles ont pu être proposés pour stabiliser les exploitations et améliorer les revenus :

- lorsque la surface est limitée et la main d'œuvre abondante, les cultures associées et intercalaires permettent d'augmenter la productivité de la terre et du travail, de la régulariser, tout en restant compatible avec la pluriactivité.
- lorsque le foncier est moins limitant, la rotation des cultures vivrières ou maraîchères avec le géranium, conduit à une agriculture productive et diversifiée (Michellon, 1992).

Mais la culture continue en sol nu de plantes sarclées aboutit à la dégradation et au décapage de l'horizon humifère présent après la jachère arborée. Cette dégradation se traduit par une baisse des rendements et de l'état sanitaire des cultures, malgré un accroissement des 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 à des couvertures herbacées ainsi qu'à l'agroforesterie, permet de proposer des systèmes de culture stables, dans un environnement protégé. Cela a déjà été démontré dans de nombreuses régions du monde (Hargrove, 1991; Monegat, 1991; Séguy, 1993).

LES SEMIS DIRECTS DANS LES COUVERTURES VEGETALES

PRINCIPES

Les caractéristiques pédologiques particulières de la zone interdisent pratiquement tout travail du sol. En effet, la forte sensibilité à l'érosion (faible perméabilité occasionnant un ruissellement important et microgranulation hydrophobe en surface) oblige à réduire au minimum toute intervention destructurante, et surtout à protéger les parcelles des facteurs érosifs très puissants sous ces climats et topographies. Le semis direct sans travail préalable du sol permet de répondre en partie à ces contraintes. Associé à une couverture herbacée des sols assurant une protection contre l'effet déstabilisant des gouttes de pluie, il maintiendra en place l'horizon cultural humifère.

Tous les systèmes de culture testés et décrits plus loin ont été mis au point selon ces premiers principes généraux. Cependant, les différentes modalités raisonnées de constitution

de la biomasse de couverture permettent d'obtenir toute une série d'effets bénéfiques, d'une part, sur la restauration et le maintien de la fertilité des sols, et, d'autre part, sur la gestion technique des systèmes (réduction des temps de travaux et des intrants). Ces différentes modalités de constitution de la biomasse de couverture permettent de classer ces systèmes en deux sous-ensembles.

LES DIFFERENTS TYPES DE SYSTEMES DE CULTURE

L'élaboration d'une biomasse de couverture peut se concevoir de plusieurs façons :

- soit en conservant les résidus de récolte de la culture précédente et les repousses desséchées (herbicide) des adventices;
- soit elle est constituée par une culture spécifique séchée en fin de cycle (herbicide, fauche ou roulage) après son exploitation fourragère éventuelle et partielle;
- soit une plante de couverture permanente est associée aux cultures principales.

Ces schémas sont traduits par le tableau 1.

Tableau 1 : Les différents types de systèmes de culture.

(RESIDUS + ADVENTICES)	CULTURE 1	RESIDUS DE RECOLTE + ADVENTICES	S E C H A G E	CULTURE 2	S U C C E S S I O N
RECHARGE EN BIOMASSE	CULTURE 1	PRODUCTIO N DE BIOMASSE		CULTURE 2	
COUVERTURE VIVE	CULTURE 1 + COUVERTURE VIVE			CULTURE 2 + COUVERTURE VIVE	A S S O C I A T I O N
		OU CULTURE + COUVERTUR E		PERENNE VIVE	

Dans les deux premiers systèmes, la culture est pratiquée dans une biomasse desséchée qui s'intègre dans la succession culturale. Alors que, dans le troisième système, il s'agit d'une association entre une plante cultivée et une couverture herbacée. Cette association devra être gérée de façon optimale pour que d'éventuelles compétitions (hydriques, minérales, physiques) ou techniques culturales (herbicides) ne nuisent pas ni à la couverture, qui doit se maintenir dans le temps, ni à la culture.

AVANTAGES ET INCONVENIENTS TECHNIQUES COMPARES

Sur le plan des techniques culturales, ces trois systèmes offrent des avantages et inconvénients respectifs qu'il convient de distinguer. En effet, ils conditionneront en partie les

modalités de diffusion et leur appropriation par les agriculteurs. Nous décrivons dans le chapitre suivant leurs effets sur la restauration de la fertilité des sols et leurs impacts sur la productivité du travail (temps de travaux, production, marges et produits, valorisation de la journée de travail).

Le tableau 2 résume les particularités techniques de chaque système.

Tableau 2 : Avantages et inconvénients techniques des systèmes de culture.

	Semis directs dans les Résidus + Adventices	Semis directs avec Recharge en biomasse	Semis directs dans Une couverture vive
PRODUCTION DE BIOMASSE	Biomasse produite sans intervention supplémentaire mais en quantité souvent insuffisante, d'où un effet fugace.	Nécessité d'immobiliser la parcelle pour la production de la biomasse.	Implantation parfois difficile de la couverture (enherbement,...). Il est recommandé de cultiver dans une parcelle où la couverture est déjà installée.
EXPLOITATION FOURRAGERE DE LA BIOMASSE	Impossible (biomasse insuffisante)	Possible avec une exportation partielle de la biomasse. Il faudra alors ajuster la fertilisation pour compenser les exportations.	Possible avec une exportation partielle ou totale de la biomasse. Il faudra alors ajuster la fertilisation pour compenser les exportations.
PREPARATION DE LA BIOMASSE (séchage)	Herbicide total Et/ou fauche.	Herbicide total Et/ou fauche Et/ou roulage.	Traitement herbicide ou fauche sur les lignes de plantation.
PERENNITE DE LA BIOMASSE	Biomasse à effet fugace à renouveler après chaque culture.	Biomasse à renouveler.	Biomasse permanente.
CONTROLE DE LA BIOMASSE DANS LA CULTURE	Contrôle nécessaire des adventices Nécessaire car la flore évolue vers des espèces résistantes aux herbicides.	Non (couverture morte).	Contrôle souvent nécessaire pour éviter toute compétition (physique, minérale, hydrique) avec la culture. Contrôle ménagé pour ne pas détruire la couverture.
PLANTE CULTIVEE <i>* semis</i> <i>* entretien</i>	Pas de problèmes particuliers. Reprise de l'enherbement précoce dès que la biomasse a disparu.	Matériel et modes de semis à ajuster pour semer dans une biomasse importante. Reprise de l'enherbement progressive. (effets allélopathiques)	Matériel et modes de semis à ajuster pour semer dans une biomasse importante. Enherbement fortement réduit par la présence de la couverture.
TEMPS DE TRAVAUX	Calendrier alourdi par la lutte contre les adventices.	Meilleure répartition annuelle des temps de travaux. La couverture réduit les temps de sarclage en période de pointe (saison des pluies). Sa mise en place se fait en période peu chargée (hiver).	Réduction importante des temps de travaux lorsque la couverture est installée.
TECHNICITE REQUISE <i>* respect des dates</i> <i>* choix des produits</i> <i>* souplesse des dosages</i>	Large souplesse dans les dates d'intervention. Herbicides totaux déjà utilisés par les agriculteurs. Souplesse dans les dosages.	Large souplesse dans les dates d'intervention mais nécessité de respecter les dates de semis car il faut intégrer une production de biomasse dans les calendriers culturaux. Herbicides totaux déjà utilisés par les agriculteurs. Souplesse dans les dosages.	Respect absolu des dates de contrôle de la couverture pour éviter les compétitions aux stades critiques (sauf dans les vergers). Herbicides spécifiques souvent nouveaux pour les agriculteurs Respect absolu des doses pour bien contrôler la couverture sans la détruire
EROSION	Faible efficacité.	Efficacité en fonction de la quantité de biomasse et sa vitesse de décomposition.	Efficacité totale.
ADAPTABILITE CULTURELLE	Technique largement diffusée malgré les contraintes socio-culturelles ("travail dans la saleté").	Technique nouvelle mais proche des pratiques sur résidus de récolte.	Technique nouvelle qui rejoint certaines pratiques traditionnelles.

Une enquête réalisée en 1996 (Da Silva Neto, 1996) a montré que, parmi les agriculteurs qui pratiquent le semis directs (50 % de l'échantillon), un quart le pratique sur couverture vive (principalement des éleveurs) et les trois quarts sur les résidus de récolte et d'adventices. Dans ce dernier cas, le problème principal est la lutte contre les adventices d'où l'évolution des recherches.

LES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX

La maîtrise de systèmes de culture diversifiés avec travail minimum et couverture du sol nécessite que les études des solutions proposées soient compatibles avec les pratiques et les contraintes des agriculteurs. Pour cela, elles doivent être mises au point en milieu réel sur des unités de paysage représentatives (Séguy, 1982). Les expérimentations sont conduites vers les 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 pérennisés, en milieu paysan, sur un intervalle de temps suffisant pour prendre en compte la variabilité climatique et socio-économique ainsi que l'évolution de la fertilité des sols en fonction des systèmes. Ceux-ci sont conduits sur des parcelles d'une superficie de 10 à 30 ares, représentatives du parcellaire à 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.

Les études sont réalisées par comparaison de systèmes de cultures intensifs conduits soit en sol nu, soit avec couverture du sol. Ils comportent du géranium rosat en culture pure, ainsi que des productions maraîchères ou vivrières (haricot, maïs, tomate et pomme de terre), fruitières (vergers) et fourragères. Pour l'ensemble des productions, trois modes de gestion du sol sont comparés, avec ou sans apport de matière organique : sol nu, couverture de graminée (Kikuyu, *Pennisetum clandestinum*) ou de légumineuse (Lotier, *Lotus uliginosus*). En 1997, les systèmes avec intégration d'une production de biomasse ont été intégrés au dispositif. Celle est constituée à partir de paille d'avoine et de sorgho.

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 différents systèmes de culture 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 valorisation des journées de travail.

Un suivi analytique systématique est réalisé afin de suivre l'évolution des composantes suivantes :

- Sol : évaluation des caractéristiques physico-chimiques, fonctionnement hydrodynamique superficiel, propriétés microbiologiques;
- Adventices et faune;
- plantes de couverture : implantation et contrôle;
- Culture principale : croissance et développement, parasitisme et adventices, productivité;

- Socio-économie : temps de travaux, charges et produits, productivité de la main d'œuvre.

Enfin des essais thématiques ont permis de répondre à des problèmes rencontrés au niveau :

- du matériel de semis,
- du choix des espèces et variétés,
- de l'implantation des plantes de couverture,
- des interactions entre la couverture et les adventices ou les cultures,
- et de la modification des techniques culturales.

LES PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS

Les systèmes avec recharge en biomasse étant nouvellement introduits dans ce dispositif de recherche, leurs effets seront décrits ultérieurement.

IMPLANTATION ET CHOIX DES COUVERTURES

Les résidus de la défriche ou de la culture précédente détruits au glyphosate (adventices, pailles de canne à sucre,...) sont conservés sur place pour constituer la couverture morte. Celle-ci présente des effets bénéfiques mais trop fugaces. Elle doit donc être renouvelée rapidement ou progressivement remplacée par des couvertures vives, de façon simultanée ou non avec les cultures. Dans le cas du géranium, culture à port bas, il est impératif de le mettre en place dans une couverture vive déjà installée. Sinon, la concurrence des adventices ou des temps de travaux trop importants (sarclages) sont préjudiciables. Cependant, il n'est pas toujours nécessaire d'immobiliser de surface productive pour l'installation des couvertures. Parfois, leur développement est favorisé sous couvert végétal d'une culture vivrière ou maraîchère.

Les légumineuses ne sont pas les plus exigeantes lors de leur mise en place. Après élimination des adventices pérennes les plus agressives, elles peuvent être semées ou bouturées. Le lotier velu (*Lotus uliginosus*) peut être semé directement à la volée, après inoculation avec son *rhizobium* spécifique et enrobage des semences. Par contre, pour le kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), il est préférable de l'implanter en semis direct en sol nu ou par bouturage (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 allie une multiplication aisée, par graine ou par bouture, à une large adaptabilité climatique, avec une préférence pour les zones humides.

LES EFFETS SUR LE MILIEU

Lutte contre l'érosion

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

Mais parmi les différents paramètres déterminant l'érodibilité des sols, la couverture du sol est le plus important. La présence d'une couverture herbacée continue sur le sol permet un contrôle total de l'érosion. Elle protège les agrégats en surface de l'action déstabilisante des gouttes de pluies (Perret, Michellon, Tassin, 1994 et 1996).

Conservation de l'eau

La couverture morte a un effet bénéfique très net sur la plupart des cultures, en particulier celle du géranium, et notamment grâce à une humidité supérieure des horizons supérieurs (Dorée, 1989).

La couverture vive assure aussi une meilleure conservation de l'eau. Elle réduit le ruissellement, et surtout, elle permet un filtrage continu des eaux de surface. Cependant, sous de très fortes intensités de pluies, le ruissellement reste important, et, pour l'absorber, la gestion du sol avec les couvertures doit être complétée par des haies arbustives qui améliorent la conductivité hydraulique. Cet embocagement permet en outre de s'affranchir des dégâts cycloniques.

La couverture augmente très sensiblement l'infiltration de l'eau, mais elle modifie aussi le bilan en saison sèche car elle favorise les précipitations occultes (Veillet, 1993).

Restauration de la fertilité des sols

Grâce à la fourniture au sol de résidus organiques qui favorisent l'activité microbienne et la minéralisation, les couvertures mortes participent à la restauration de la fertilité (Py, Clariond, 1989).

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 par la macrofaune (Boyer, Lavelle, Michellon, 1994) et l'activité racinaire (Burle, 1993). Leurs caractéristiques physiques et hydriques sont modifiées, en particulier la macroporosité, la stabilité structurale des agrégats, la conductivité hydraulique et la rétention en eau sont augmentées (Michellon, Perret, Ansellem, 1994). La création d'un milieu plus aéré permet une activité microbienne intense qui assurerait un recyclage des éléments minéraux.

L'état de la matière organique et l'activité biologique sont les pivots de l'amélioration de la fertilité des andosols. Ceux-ci présentent un taux de matière organique toujours élevé, mais elle est fortement liée aux produits amorphes et donc inutilisable (Raunet, 1991; Py, Clariond, 1989). Les plantes de couverture fournissent des résidus qui favorisent une activité microbienne très élevée, parfois équivalente à celle observée sous friche (Dorée, 1989; Py, Clariond, 1989). La minéralisation dont bénéficie la culture est accrue ; les apports de matière organique pourraient être fortement diminués (Michellon et al., 1992; Michellon, 1996).

Dans le cas des associations avec les légumineuses de couverture, la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique pourrait contribuer à enrichir le sol et améliorer la nutrition de la culture. La fixation du 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).

MODIFICATION DES TECHNIQUES CULTURALES

L'amélioration de la fertilité par les couvertures végétales a des conséquences immédiates sur la production grâce à la stimulation de l'activité microbienne du sol et sur les besoins en fumure minérale qui pourront être sensiblement réduits. D'autre part, certaines maladies se propagent moins rapidement dans les associations (Trenbath, 1976). Avec couverture, les symptômes de certaines maladies telluriques comme le flétrissement bactérien, *Pseudomonas solanocearum*, disparaissent.

Modifications de la faune

Des modifications de la faune terricole apparaissent sous couverture végétale et peuvent présenter des inconvénients (prolifération des limaces) et des avantages (vers de terre). Le rôle de leurre racinaire tenu par les couvertures permet de réduire les dégâts du vers blanc (*Holplochelus marginalis*). Les dommages occasionnés par la mouche sur gros genou du haricot (*Ophyomyia phaseoli*) sont de même réduits sous couverture. Enfin, les attaques sur le géranium de *Cratopus humeralis* sont supprimées en association avec le lotier velu qui constitue une plante piège (Michellon, 1996).

Evolution de la flore et maîtrise de la couverture

En présence d'une couverture, la prolifération des mauvaises herbes apparaît réduite, voire contrôlée par le tapis lui-même. Outre les difficultés d'installation (germination, levée et croissance) 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). Cet effet est aussi dépressif sur la levée des graines des cultures et 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 faibles d'herbicides. Il est impératif de ne pas détruire la couverture sous peine de perdre ses effets bénéfiques sur le contrôle des adventices très agressives (*Cyperus rotundus*, *Cyperus esculentus*,...). Par exemple, le kikuyu est maîtrisé par des applications d'un graminicide spécifique, le fluazifop-p-butyl à raison de 60 à 125 g par hectare selon la saison. Des essais thématiques ont permis ainsi de déterminer les matières actives herbicides efficaces en présence de couvertures de légumineuses. Leur efficacité a été mesurée en termes de sélectivité et de durabilité de leur action (Dejante, Michellon, Vincent, 1991).

Intérêt fourrager

Outre les couvertures vives qui sont exploitées pour les animaux (bovins, caprins), les haies de *Calliandra calothyrsus* constituent une bonne réserve sur pied grâce à leur feuillage abondant (Marechaux, 1993).

CONSEQUENCES AGRO-ECONOMIQUES

Les modes de gestion du sol et des cultures avec couverture permettent généralement d'obtenir des rendements des cultures équivalents ou supérieurs à ceux obtenus dans les itinéraires en sol nu, ainsi qu'une production fourragère notable (Michellon, 1996). 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 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.

Ce dispositif constitue un outil pédagogique privilégié pour les formateurs et ces résultats dépassent le cadre agricole par la préservation des infrastructures et lagons, ainsi que par la mise en valeur touristique.

Grâce aux outils biologiques, 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; Monegat, 1991; Séguy, 1993).

EVOLUTIONS RECENTES DU DISPOSITIF

LES SYSTEMES AVEC RECHARGE EN BIOMASSE

Depuis 1997, les systèmes avec recharges en biomasse sont installés dans le dispositif. Ils sont destinés à proposer des itinéraires plus efficaces sur résidus de récolte seuls tout en nécessitant des techniques culturales proches des pratiques actuelles et plus souples d'utilisation (matières actives et doses des herbicides). En fait, ces systèmes avaient été déjà testés auparavant dans le cadre des actions concernant le riz pluvial (Michellon, Jeanne, 1990). Mais les subventions accordées par la C.E.E. aux importations de riz et l'absence de pratique du semis directs à cette époque ont abouti, alors, à l'abandon de ces techniques.

Les espèces productrices de biomasse ont été choisies pour :

- leur aptitude fourragère,
- leur faible vitesse de croissance en été ou en hiver (réduction de l'immobilisation de la parcelle),
- leurs vitesses de décomposition des pailles,

- leurs effets allélopathiques,
- et leur capacité à recycler des éléments minéraux prélevés en profondeur.

Dans un premier temps, et suite aux résultats obtenus au Brésil et à Madagascar, les espèces choisies ont été l'avoine en saison fraîche, et le mil et sorgho en saison chaude. Différents systèmes de cultures intégrant ces biomasses sont testés avec une seule recharge (en hiver ou en été) par an ou deux. Différents suivis sont réalisés :

- les quantités de biomasse produite suivant les espèces, les dates de semis, les modes de gestion (prélèvement partiel ou non pour une utilisation fourragère),
- le contrôle des adventices,
- l'évolution du profil hydrique des sols,
- l'évolution des propriétés physico-chimiques et biologiques des sols,
- les temps de travaux,
- et les facteurs du rendement.

LA DIFFUSION DES RESULTATS

L'innovation technique répond en partie aux contraintes des agriculteurs en termes de valorisation de la journée de travail (réduction des coûts de production) et au niveau de la restauration de la fertilité des sols. Cependant, l'innovation pose parfois le problème de son appropriation par les agriculteurs. Il s'agit de passer d'une technique à une pratique, c'est-à-dire d'analyser la manière dont les techniques sont concrètement mises en œuvre dans le contexte de l'exploitation. Ceci suppose que l'innovation s'harmonise avec le projet de l'exploitant, les contraintes et les opportunités spécifiques de son unité de production. L'analyse des pratiques permet ainsi de construire un système de références locales reliant les possibilités d'adaptation d'une technique aux capacités d'appropriation des agriculteurs. Elle fournit également en retour des informations pour ajuster les programmes de recherche destinés à la mise au point des systèmes techniques innovants. Ces travaux sont conduits sur un réseau de fermes de références représentant la variabilité physique et socio-économique des exploitations des Hauts de l'Ouest. Le dispositif de diffusion associe étroitement le CIRAD aux partenaires du développement (Chambre d'Agriculture et Association pour la Promotion en milieu Rural).

EXTENSION DES RESULTATS A D'AUTRES ECOLOGIES

Suite à des demandes spécifiques émanant d'organismes de développement, d'associations d'agriculteurs ou de chercheurs, différentes actions sont conduites dans d'autres écologies plus chaudes et plus humides. Il s'agit principalement:

- des Hauts de l'Est, en accompagnement de la diversification fruitière (F. Normand, 1994) pour la lutte contre l'érosion et l'enherbement,
- la région du Sud (Petite-île) pour la protection des vergers d'agrumes et des zones de captage de l'eau de la ville (Chambre d'Agriculture),
- la région de Saint-Philippe pour la restauration de la fertilité des sols après défrichage mécanique et la protection contre l'érosion des plantations de palmiste (avec l'Association des paysans de Saint-Philippe).

CONCLUSION

Les actions conduites à la Réunion ont permis de proposer aux agriculteurs une palette de systèmes agricoles diversifiés et durables prenant en compte le respect de l'environnement. Ils sont basés sur la gestion agrobiologique des sols et intègrent les semis directs dans des couvertures végétales mortes ou vives associées à des aménagements antiérosifs (courbes de niveau, embocagement). Les systèmes les plus performants consistent à une association entre les plantes cultivées et des couvertures vives permanentes. Cependant, ils répondent surtout aux besoins d'éleveurs et supposent un niveau de technicité parfois trop élevé dans le contexte local. C'est pourquoi, en complément, et pour répondre à une plus large demande, des systèmes avec recharge en biomasse sont étudiés. Ces techniques sont plus proches de celles

déjà largement diffusées, les semis directs sur résidus de récolte. Pour ce faire, la recherche bénéficie des travaux conduits antérieurement à la Réunion et, surtout, de travaux conduits dans des régions où ces techniques sont utilisées depuis de nombreuses années (Brésil). Enfin, des échanges au niveau régional (Océan Indien), ont déjà permis une synergie d'action entre des milieux physique et humain largement diversifiés.

BIBLIOGRAPHIE

- BOSCHER M., PERRET S., 1996. La diversification dans les Hauts de Saint-Paul (Réunion). Analyse des situations agricoles et stratégies de gestion des risques climatiques et de la mise en marché. CIRAD Sar, num. 132/96, décembre 1996, 83p et annexes.
- BOUGERE J., 1988. Aperçu sur l'érodibilité des andosols cultivés à la Réunion. In : CIRAD, 1988 : Les andosols de l'île de la Réunion. Séminaire de Saint-Denis, 24 mai-1^{er} juin , p 157-162. CIRAD-CNRS-INRA-ORSTOM-Université.
- BOYER J, LAVELLE P., MICHELLON R., 1994. Caractérisation de la faune du sol dans différentes parcelles des Hauts de l'Ouest de la Réunion. ORSTOM – CIRAD – Réunion, 18 p.
- BURLE D., 1993. Effets des couvertures végétales permanentes associées au géranium sur la fertilité des andosols de la Réunion. Mémoire ITAT-ENIT(Bordeaux)-CIRAD-CA, 49 p + annexes.
- DA SILVA NETO M., 1996. Appropriation et adaptation de techniques agroécologiques dans les Hauts de l'Ouest (Réunion). Mémoire CNEARC / CIRAD-CA, 62p et annexes.
- DEJANTE P., MICHELLON R., VINCENT G., 1991. Essai d'herbicides sur légumineuses de couverture. CIRAD-Réunion, num 1, 19 p + annexes.
- 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.
- FARGIER Y, PERRET S, LEGAL P.Y., 1996. La gestion de l'eau d'irrigation en conditions de ressource limitée (retenues collinaires). Analyse des pratiques et propositions d'outils d'aide à la décision pour les exploitations des Hauts de la Réunion. CIRAD Sar, num 161/96, décembre 1996, 59 p et annexes.
- 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.
- GUILLOY D., 1994. L'agriculture des Hauts de l'Ouest, bilan et propositions. APR, CAH, 28p.
- HARGROVE W.L.Ed., 1991. Covercrops for clean water. Ankeny, U.S.A., Soil and Water Conservation Society, 198 p.
- HUMEAU L., 1993. Etude des effets allélopathiques du Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*) sur la tomate (*Lycopersicon esculentum*) et deux plantes adventices (*Cyperus rotundus* L. et *Bidens pilosa*). 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., 1996. Modes de gestion écologique des sols et systèmes de culture à base de géranium dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion. CIRAD-CA, num 47-96, juillet 1996, 97 p.
- MICHELLON R, 1992. Les systèmes de culture. In : Le géranium à la Réunion. C.A.H., Saint-Denis, Réunion, Graphica, p 15-22.
- MICHELLON R., JEANNE J., 1990. Introduction du riz pluvial dans les systèmes de culture des Hauts de l'Ouest. Fiche d'essai CIRAD/IRAT-Réunion, n°2, 12 p.
- MICHELLON R., 1996. Modes de gestion écologique des sols et systèmes de culture à base de géranium dans les Hauts de l'Ouest de la Réunion. CIRA-CA, num 47-96, juillet 1996, 97 p.
- MICHELLON R., ANSELLEM Y., NARANIN L., 1994. Réduction des fumures grâce aux légumineuses de couverture. CIRAD-CA-Réunion, num 2, 10 p + annexes.

- MICHELLON R., DEJANTE P., VINCENT G., 1992. Implantation de couvertures avec des cultures vivrières : aspects techniques et économiques. CIRAD/IRAT-Réunion, N°1, 14 p + annexes.
- 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.
- MONEGAT C., 1991. Plantas de cobertura do solo : características e manejo em pequenas propriedades. Chapeco, Brésil, Monegat Ed., 337p.
- NORMAND F., 1994. Rapport technique annuel. CIRAD/FLHOR-Réunion, 94 p.
- PERRET S., 1992. Processus de dégradation et d'érosion des sols dans les Hauts et restauration par des systèmes conservatoires à base de couvertures. Rapport annuel CIRAD/Réunion. P 64-65.
- PERRET S., 1993. Etude des propriétés physiques, hydriques et mécaniques de sols andiques de la Réunion. Facteurs naturels et anthropiques d'évolution des horizons cultureux, implications agronomiques et écologiques. Thèse de doctorat, ENSA Montpellier / CIRAD, num 01/93, 278p et annexes.
- PERRET S.; MICHELLON R., TASSIN J., 1994 . Soil loss control properties improvement 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., 1996. Soil rehabilitation and erosion control through agro-ecological practices on Reunion Island (French Overseas Territory, Indian Ocean). Agriculture, Ecosystems and Environment 59, p 149-157.
- PY F., CLARIOND A., 1989. Etudes 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-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., 1993. Os sistemas de culturas para a regio do médio norte do Mato Grosso. Recomendacoes tecnicas. CIRAD, C.L., RHODIA, Brésil, 34 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, 55p.

Impacts des couvertures végétales sur la production de *Pelargonium x Asperum* et sur la biologie du sol (macrofaune) à l'île de La Réunion (Département Outre-Mer français)

Par A CHABANNE, J BOYER, R MICHELLON et L SEGUY

CIRAD/CA/GEC/Réunion, Station des Colimaçons, 13 CD 3, Petite Ravine
97416 La Chaloupe-Saint-Leu, Ile de La Réunion

Résumé

Dans les Hauts de l'Ouest de l'île de La Réunion, la culture du géranium rosat (*Pelargonium x asperum*) est confrontée à des problèmes de maintien de la fertilité des sols. L'abandon de la jachère, les pratiques culturales en sol nu (monoculture ou rotations) et une très forte sensibilité des andosols à l'érosion, ont abouti à la dégradation physique, chimique et biologique (macrofaune) des sols. Cette dégradation du milieu s'est traduite par une diminution sensible de la production en huile essentielle. Pour y remédier, des essais relatifs à l'utilisation des couvertures végétales ont été installés. Ces dernières ont été constituées à partir d'une biomasse soit importée (paille de canne à sucre, *Saccharum officinarum*) soit produite sur place à l'aide d'une espèce pérenne (*Stenotaphrum secundatum*.) cultivée en association avec le géranium. En comparaison avec la culture du géranium en sol nu, les résultats montrent une augmentation hautement significative de la production en biomasse aérienne du géranium ainsi qu'en essence obtenue après distillation. En parallèle, la biodiversité, la biomasse et la densité de la macrofaune du sol sont restaurées sous couvert végétal.

Mots-clefs: *Couvertures végétales, géranium, macrofaune, Ile de La Réunion*

Introduction

Dans les zones d'altitude de l'Ouest de La Réunion, la suppression de la jachère, la pratique de la monoculture ou des rotations culturales en sol nu, et l'emploi excessif des pesticides ont abouti à la dégradation physique, chimique et biologique des sols. Dans les cultures sarclées, l'érosion intense, la diminution de l'aptitude culturale des sols et de la productivité du travail engendrent une baisse des performances techniques et financières des exploitations. C'est dans ce contexte que de nouveaux systèmes de cultures ont été expérimentés. Ils reposent sur la suppression du travail du sol et sur la constitution d'une couverture végétale temporaire ou permanente. Les effets bénéfiques des systèmes de culture avec couverture végétale sont maintenant bien connus (Michellon, Séguy, 1996 ; Séguy, Bouzinac, 1998). En zone tropicale humide d'altitude sur sols fragiles, leurs effets bénéfiques ont été déjà démontrés (Chabanne et al, 1998).

Le rôle des invertébrés (macrofaune) du sol dans les processus pédologiques (régulation de la dynamique de la matière organique, maintien de la structure du sol) a été largement décrit

(Lal, 1988 ; Lavelle, 1997). Certains travaux ont mis en évidence une relation directe entre l'activité de certaines populations de la macrofaune du sol et la croissance des plantes (Pashanasi et al., 1992; Stephens et al., 1994).

Dans cette étude, il s'agissait de vérifier l'impact des couvertures végétales (pérenne et importée) sur la production d'essence de géranium et sur les peuplements de la macrofaune du sol.

Matériels et méthodes

Site

L'expérimentation a été conduite dans les hauts de l'Ouest de l'île de la Réunion à 1000 m d'altitude et durant deux années de culture, 1999 et 2000, chez un agriculteur producteur d'huile essentielle de géranium (*Pelargonium x Asperum*). Le sol (de type andosol) est caractéristique des problèmes rencontrés dans la zone du fait d'une forte dégradation occasionnée par l'érosion et le recours à des systèmes de culture inadaptés.

Traitements

Sur une parcelle de géranium conduite de façon traditionnelle, deux traitements avec couverture végétale ont été comparés au témoin cultivé en sol nu.

Traitement 1 : apport de paille de canne à sucre, *Saccharum officinarum* (5 à 7 t/ha de matière sèche renouvelées dès qu'il ne reste plus que 2T/ha suite à la décomposition).

Traitement 2 : installation par boutures d'une couverture pérenne de *Stenotaphrum secundatum*.

Le dispositif mis en place est de type "Bloc" avec 6 répétitions et des parcelles élémentaires de 20 à 30 m².

Observations

Certaines composantes de la production ont été suivies à chaque récolte de l'agriculteur (tous les deux ou trois mois). Six coupes (de juillet 1999 à décembre 2000) de la partie aérienne du géranium ont eu lieu. Les teneurs en huile essentielle ont été étudiées en laboratoire à partir d'un échantillon de matière verte.

La méthode d'échantillonnage utilisée pour la macrofaune fut celle recommandée par le programme "Tropical Soil Biology and Fertility" (Anderson & Ingram, 1993). Les prélèvements ont été effectués huit mois après l'installation des couvertures. Les individus rencontrés sont classés en taxons, comptés et pesés.

Résultats

En comparaison avec le géranium cultivé en sol nu, on observe une augmentation significative de la production des parties aériennes verte pour le traitement avec paille (Tableau 1). Il faut attendre la dernière date pour observer une différence significative entre le témoin et le *S. Secundatum*.. A chaque coupe, on note une augmentation de la production d'huile essentielle pour le traitement avec paille de canne en comparaison avec le géranium cultivé sur sol nu (Tableau 2).

L'étude des densités et des biomasses moyennes totales de la macrofaune du sol, exprimées en nombre d'individus et en gramme par mètre carré (Nb ind.m⁻² et g.m⁻²) montre une augmentation significative des peuplements sous la culture de géranium associé à la paille de canne (Tableau 3).

En comparaison avec la paille (13 taxons), une diminution de la biodiversité biologique est observée sous sol nu (7 taxons). Sous *S. secundatm*, la diminution est moins sensible (10 taxons).

Les couvertures végétales sont caractérisées par les diplopodes (plus de 80% sous paille et 37% sous *S. secundatum*). Ces derniers sont de gros consommateurs de la litière.

Tableau 1. Production des parties aériennes vertes récoltées de *Pelargonium x Asperum* (en kg/ha). La même lettre dans la même colonne indique que la différence n'est pas significative ($p < 0,05$, Newman-Keuls). SE : Standard error. SN : sol nu, ST: *Stenotaphrum*, PAIL: paille.

	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 5	Date 6	Moy
SN	2176 b	2273 b	3033 b	1488 b	2150 b	2080 c	2200
ST	1819 b	1568 b	2400 b	2712 b	2726 b	3040 b	2377
PAIL	4574 a	4341a	6425 a	7241 a	5089 a	5119 a	5465
Moy	2856	2727	3952	3814	3322	3413	3347
SE (ddl=17)	432	394	501	710	345	354	456

Tableau 2. Production en huile essentielle de *Pelargonium x Asperum* (en litre/hectare). La même lettre dans la même colonne indique que la différence n'est pas significative ($p < 0,05$, Newman-Keuls). SE : Standard error. SN : sol nu, ST: *Stenotaphrum*, PAIL: paille.

	Date 1	Date 2	Date 3	Date 4	Date 5	Moy
SN	6,20 a	6,63 a	9,70 a	4,38 a	7,83 a	6,95
PAIL	11,97 b	12,66 b	20,99 b	15,69 b	18,77 b	16,02
Moy	8,85	9,65	15,03	9,60	13,23	11,27
SE (ddl=11)	1,30	1,52	2,16	1,95	1,95	1,78

Tableau 3. Densités et biomasses moyennes totales de la macrofaune du sol en nombre (Nb) d'individus et en gramme par mètre carré (Nb ind.m⁻² et g.m⁻²). La même lettre dans la même ligne indique que la différence n'est pas significative (ANOVA, $p < 0,05$). SN : Sol nu, ST : *Stenotaphrum secundatum*, PAIL : paille de canne). L'erreur standard entre parenthèse.

	SN	ST	PAIL
Densités (Nb ind.m ⁻²)	45 a (12,77)	165 a (28,56)	1323 b (197,26)
Biomasses (g.m ⁻²).	0,84 a (0,49)	5,07 b (2,45)	42,15 b (16,06)

Discussion

Sur sol fortement érodé, la constitution d'une couverture végétale par une recharge en biomasse est très rapidement bénéfique. Ces observations confirment les résultats antérieurs qui ont porté sur la protection contre l'érosion, l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques, la conservation de l'eau et la diminution des mauvaises herbes (Chabanne et al, 1998 ; Michellon, Séguy, 1996 ; Séguy, Bouzinac, 1998).

Avant d'observer les effets bénéfiques de la couverture de *Stenotaphrum secundatum*, une phase d'installation est nécessaire. Cette phase correspond à la constitution d'une litière suffisante qui

sera par la suite restituée par décomposition. Sur le plan socio-économique, les systèmes de culture avec paillage diminuent fortement les temps de travaux nécessaires au contrôle de l'enherbement, mais obligent à la mise à disposition d'une biomasse ainsi qu'au travail nécessaire à son épandage.

L'introduction de couvertures végétales associées au géranium permet de restaurer la diversité biologique du sol. Les conditions nutritives et micro-environnementales apportées par le couvert influencent l'abondance et la structure des peuplements de la macrofaune du sol. La minéralisation de la litière de paille est plus rapide que celle de la couverture pérenne et explique les fortes densités et biomasses retrouvées.

Globalement, les systèmes de culture avec couverture végétale permettent d'apporter des solutions satisfaisantes sur le plan environnemental et socio-économique pour une agriculture durable.

Remerciements

Nous tenons à remercier Jean-paul Fontaine, agriculteur du Guillaume (Ile de la Réunion), pour sa participation active à l'expérimentation.

Références

Anderson JM, Ingram J. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility. A handbook of methods. 2d edition CAB Oxford UK: 94-106

Chabanne A., Michellon R., Séguy L., Techer P. 1998. La conception de systèmes agricoles durables à base de semis direct dans des couvertures végétales pour les Hauts de l'Ouest à la Réunion. Actes de l'Atelier international : "Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture". ANAE-CIRAD-FAFIALA-FIFAMANOR-FOFIFA-TAFA, Antsirabe, Madagascar 23-28 mars 1998. pp.239-248.

Lal R. 1988. Effects of macrofauna on soil properties in tropical systems. *Agriculture, Ecosystems and Environments* 24: 101-116.

Lavelle P. 1997. Faunal activities and soil processes : adaptative strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research* 27: 93-132

Michellon R., Séguy L. 1996. Les différents systèmes de gestion des cultures. Amélioration de la fertilité des andosols de la Réunion et de la productivité des cultures de géranium rosat avec couverture permanente. La Chaloupe Saint-Leu, Réunion, CIRAD-CA, pp.1-15, réf. 3 tabl., 3 graph.

Pashanasi B, Melendez G, Szott L, Lavelle P. 1992. Effect of inoculation with the endogeic earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae) on N availability, soil microbia biomass and the growth of three tropical fruit tree seedlings in pot experiment. *Soil Biology and Biochemistry* 24: 213-226

Séguy L., Bouzinac S. 1998. Quelles recherches thématiques pour aborder la modélisation du fonctionnement comparé entre des systèmes de culture avec travail mécanique du sol et des systèmes en semis direct sur couvertures mortes et vivantes ? Actes de l'Atelier international : "Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture". ANAE-CIRAD-FAFIALA-FIFAMANOR-FOFIFA-TAFA, Antsirabe, Madagascar 23-28 mars 1998. pp.495-502.

Stephens PM, Davoren CW, Doube BM, Ryder MH. 1994. Ability of the earthworms *Aporrectodea rosea* and *Aporrectodea trapezoides* to increase plant growth and the foliar concentration of elements in wheat (*Triticum aestivum* cv. Spear) in a sandy loam soil. *Biology and Fertility of Soil* 18: 150-154

Impact of cultivation practices (couvertures végétales) on soil macrofauna in Reunion Island (French Overseas Territories)

by J BOYER*, A CHABANNE & L SEGUY**

*CIRAD/CA/GEC/ Réunion, Station des Colimaçons, 13 CD3, Petite Ravine
97416 La Chaloupe Saint Leu, Ile de la Réunion

**CIRAD/CA/GEC/ Brésil Tasso de Castro BP504 Agebacia Central CEP, 74000 Goinia
Brésil

Résumé

L'utilisation des couvertures herbacées sous culture, permet de mettre en place des systèmes agricoles durables et d'améliorer les rendements de la production. Ces méthodes favorisent les processus physiques, chimiques et biologiques de fertilité des sols. Afin de vérifier l'impact de ces techniques sur la macrofaune du sol, des essais relatifs à l'utilisation des couvertures végétales ont été installés. Ces dernières sont constituées d'une biomasse produite sur place par l'avoine (*Avena sativa*) et par une légumineuse, le lotier (*Lotus uliginosus*). En comparaison avec la culture (maïs) en sol nu, les résultats montrent une augmentation significative des peuplements de la macrofaune du sol sous les couvertures.

Mots-clés : Couvertures végétales, lotier, avoine, macrofaune du sol, Ile de la Réunion

Introduction

L'intensification agricole et les pratiques qui lui sont associées conduisent à des modifications environnementales qui diminuent le plus souvent la biodiversité du sol. On constate la plupart du temps une forte diminution des effectifs de la faune (principalement de la macrofaune) lors de la mise en culture. Le travail mécanique du sol, les pesticides (Clements et al., 1991), principalement les nématicides et les fongicides, et l'utilisation de technique qui laissent le sol à nu durant de longues périodes sont particulièrement néfastes à la macrofaune du sol.

Le rôle de la macrofaune dans les processus pédologiques a été largement décrit (Lal, 1988; Lavelle, 1997). Leur implication dans la régulation de l'activité microbienne du sol est maintenant reconnue. Des travaux ont aussi montré une relation directe et proportionnelle entre l'activité de certaines populations de la macrofaune du sol et la croissance végétale (Stephens et al., 1994).

Using agroecological practices and, particularly, permanent cover crops associated with annual cover crops, it is possible to restore sustainable systems in tropical areas (Monegat, 1991; Seguy et al., 1996).

Dans cette présente étude, les impacts de certaines couvertures végétales sur les peuplements de macro-invertébrés (macrofaune) du sol ont été analysés.

Matériels et Méthodes

Site

Reunion Island is a volcanique island located in the Indian Ocean (21°05' S, 55°20' E). The present study was carried out at an altitude of 1000 m on an andisol, with a mean annual rainfall of 1400 mm.

Traitements

Sur une parcelle de maïs, trois traitements ont été appliqués :

Traitement 1 : maïs cultivé en sol nu.

Traitement 2 : maïs cultivé en association avec une couverture morte (avoine, *A. sativa*).

Traitement 3 : maïs cultivé en association avec une graminée pérenne (lotier, *L. uliginosus*).

Le dispositif mis en place était de type "Bloc" avec 5 répétitions et des parcelles élémentaires de 20 à 35 m². Aucun pesticide n'a été utilisé.

Observations

En 1999 avant le semis de maïs, un premier échantillonnage de la macrofaune a été effectué sur la couverture de lotier âgée de 1 an et juste avant la fauche de l'avoine. Un second prélèvement fut réalisé à la fin du cycle cultural. La méthode d'échantillonnage utilisée pour la macrofaune fut celle recommandée par le programme "Tropical Soil Biology and Fertility" (Anderson & Ingram, 1993). Les individus rencontrés dans le sol sont classés par taxons, comptés et pesés.

Résultats

La première analyse de la macrofaune (1999) ne montre aucune différences significatives entre les trois traitements pour les densités et les biomasses moyennes totales de la population (Tableau 1). La second analyse faite cinq mois plus tard (2000), nous permet d'observer une augmentation significative des populations sous couverture de lotier. Sous couverture d'avoine, l'augmentation est relative (Tableau 2).

Tableau 1. Densités et biomasses moyennes totales de la macrofaune du sol exprimées en nombre d'individu (ind.) et en gramme (g) par mètre carré (ind.m⁻², g.m⁻²). La même lettre dans la même ligne indique que la différence n'est pas significative (ANOVA, p< 0,05). L'erreur standard est entre parenthèses.

1999	Sol nu	Lotier	Avoine
Densité (ind.m⁻²)	173 a (104,1)	238 a (51)	110 a (19,7)
Biomasse (g.m⁻²)	7,35 a (4,25)	4,56 a (1,15)	7,79 a (4,75)

Tableau 2. Densités et biomasses moyennes totales de la macrofaune du sol exprimées en nombre d'individu (ind.) et en gramme (g) par mètre carré (ind.m⁻², g.m⁻²). La même lettre

dans la même ligne indique que la différence n'est pas significative (ANOVA, $p < 0,05$). L'erreur standard est entre parenthèses.

2000	Sol nu	Lotier	Avoine
Densité (ind.m⁻²)	74 a (35,66)	1021 b (193,8)	301 a (64,73)
Biomasse (g.m⁻²)	4,52 a (2,47)	58,57 b (18,18)	8,45 a (3,03)

Lorsqu'on étudie l'évolution des populations de la macrofaune du sol pour chaque traitement lors des deux prélèvements on constate qu'en sol nu, les densités et biomasses moyennes totales ne sont pas significatives (Tableau 3). A l'inverse, sous les couvertures végétales (lotier et avoine), les densités retrouvées sont significativement plus élevées entre les deux dates et seulement dans le cas du lotier pour les biomasses (Tableau 3).

Tableau 3. Densités et biomasses moyennes totales de la macrofaune du sol exprimées en nombre d'individu (ind.) et en gramme (g) par mètre carré (ind.m⁻², g.m⁻²). La même lettre dans la même colonne indique que la différence n'est pas significative (ANOVA, $p < 0,05$). L'erreur standard est entre parenthèses.

	Sol nu		Lotier		Avoine	
	Densité (ind.m ⁻²)	Biomasse (g.m ⁻²)	Densité (ind.m ⁻²)	Biomasse (g.m ⁻²)	Densité (ind.m ⁻²)	Biomasse (g.m ⁻²)
1999	173 a (104,11)	7,35 a (4,25)	238 a (51)	4,56 a (1,15)	110 a (19,71)	7,79 a (4,75)
2000	74 a (35,66)	4,52 a (2,47)	1021 b (193,82)	58,77 b (18,18)	301 b (64,73)	8,45 a (3,03)

Discussion

L'absence de différences significatives lors du premier prélèvement montre qu'il est nécessaire de laisser aux couvertures le temps de s'installer afin de pouvoir bénéficier de leurs impacts (constitution, minéralisation de la litière et du système racinaire). Au terme de ces deux séries d'analyses on note que la couverture de légumineuse semble plus bénéfique aux populations de la macrofaune du sol. Ces premiers résultats comparatifs doivent être poursuivis afin de dégager les facteurs qui font que les couvertures végétales permettent la restauration de la macrofaune du sol. Ces résultats confirment ceux observés par d'autres auteurs et qui montrent que la culture en sol nu influe de façon négative sur les populations de macroinvertébrés du sol (Boyer et al., 1999; Lavelle et al., 1999). Mais il est nécessaire de vérifier si cette restauration est maintenue dans le temps et surtout si elle agit sur le rendement de la culture principale.

Actuellement ces travaux sont en cours. Les densités observées sous lotier sont identiques à celles retrouvées sous la même couverture âgée de 4 ans et associées au géranium (Boyer et al., 1996). Les études en cours tendent à vérifier l'impact de la macrofaune sur les processus chimiques et microbiologiques des sols. Les couvertures végétales permettent de restaurer la macrofaune du sol par l'intermédiaire d'un certains nombre de facteurs qu'il est urgent de déterminer (humidité, température, matière organique). Ces facteurs seront à associer aux données agronomiques favorables aux rendements et qui permettront de choisir les couvertures les plus adéquates aux spéculations en fonction de l'environnement.

Références

Anderson JM, Ingram J. 1993. *Tropical Soil Biology and Fertility. A handbook of methods*. 2ⁿ édition CAB Oxford UK: 94-106.

Boyer J, Michellon R, Lavelle P. 1996. Characterisation of Macrofauna in *Pelargonium x asperum* plantations with different management options. In *Proceeding of XII International Colloquium on Soil Zoology, Dublin, 21-26 July, 1996*, 236 (Abstr.).

Boyer J, Michellon R, Chabanne A, Reversat G, Tibere R. 1999. Effects of trefoil cover crop and earthworm inoculation on maize crop and soil organisms in Reunion Island. *Biology and Fertility of Soil* 28: 364-370

Clements RO, Murray PJ, Sturdy RG. 1991. The impact of 20 years' absence of earthworms and three levels of N fertilizers on a grassland soil environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 36: 75-85.

Lal R. 1988. Effects of macrofauna on soil properties in tropical systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 24: 101-116.

Lavelle P. 1997. Faunal activities and soil processes: adaptative strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research* 27: 93-132.

Lavelle P, Brussaard L, Hendrix P. 1999. *Earthworm Management in Tropical Agroecosystems*. CAB International London UK: 300pp

Monegat C. 1991. Plantas de cobertura do solo: características e manejo em pequenas propriedades. Chapeco, Brésil, Monegat (Eds.): 337p.

Seguy L, Bouzinac S, Trentini A, Côrtes NA. 1996. L'agriculture brésilienne des fronts pionniers. *Agriculture et Développement* 12: 2-61.

Stephens PM, Davoren CW, Doube BM, Ryder MH. 1994. Ability of the earthworms *Aporrectodea rosea* and *Aporrectodea trapezoides* to increase plant growth and the foliar concentration of elements in wheat (*Triticum aestivum* cv. Spear) in a sandy loam soil. *Biology and Fertility of Soil* 18: 150-154.

ANPP - DIX-HUITIEME CONFERENCE DU COLUMA
JOURNEES INTERNATIONALES
SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES
TOULOUSE - 5, 6, 7 DECEMBRE 2001

LES EFFETS ALLELOPATHIQUES
DE L'AVOINE (*AVENA SATIVA*)
SUR DIFFERENTES MAUVAISES HERBES
ET PLANTES CULTIVEES

M.E. EVENO, A. CHABANNE
CIRAD – CA- GEC/Stations des Colimaçons
13 CD 3
97416 La Chaloupe-Saint-Leu
Ile de La Réunion

Résumé : La paille d'avoine utilisée pour la confection d'un mulch réduit fortement l'abondance des mauvaises herbes. Outre les phénomènes de compétition, les composés allélopathiques libérés lors de la décomposition des pailles jouent un rôle important. Des expérimentations conduites en milieu contrôlé ont permis d'apprécier leur impact sur la croissance de certaines espèces de mauvaises herbes et de plantes cultivées. Il s'avère que les macérations à 35°C et durant 24 h de paille d'avoine décomposée réduisent fortement la croissance de *Plantago lanceolata* et *Bidens pilosa*. Il semblerait qu'elles affectent la croissance du riz et de la tomate. Par contre, les restitutions minérales issues des macérations de paille sont profitables à la croissance du maïs (*Zea mays*) et de *Cyperus rotundus*. D'autres espèces sont indifférentes. Ces résultats illustrent le caractère sélectif du phénomène d'allélopathie.

Mots-clés : *Avena sativa*, allélopathie, couverture végétale, macérations, Ile de La Réunion.

The allelopathic effects of oats (*Avena sativa*) on various weeds and cultivated plants

Summary: Using oat straw as a mulch significantly reduces weed growth. In addition to the competition phenomena caused, the allelopathic compounds released as the straw rots also play an important role. Trials conducted in a controlled environment demonstrated the impact of such compounds on the growth of certain weed and cultivated plant species. It transpired that rotten oat straw mulch macerated at 35°C for 24 h considerably hampered *Plantago lanceolata* and *Bidens pilosa* growth. It also apparently affected rice and tomato growth, but the minerals restored by macerated mulch stimulated maize (*Zea mays*) and *Cyperus rotundus* growth. Other species were not affected. These results demonstrate the selective nature of allelopathy.

Keywords: *Avena sativa*, allelopathy, plant cover, macerated mulch, Réunion Island.

Objets

En zone tropicale humide, une pression démographique grandissante et une demande de production agricole accrue ont conduit à une diminution du temps de jachère. Il s'ensuit une baisse de la fertilité des sols et un rapide développement des mauvaises herbes qui devient difficilement contrôlable (Maillet, 1991). Celles-ci représentent l'une des principales contraintes biologiques qui affectent la production agricole alimentaire mondiale et plus particulièrement celle des pays en voie de développement. (Worsham, 1991). Elles ont des conséquences désastreuses pour les cultures des régions tropicales et subtropicales, notamment pour les petites exploitations agricoles. C'est dans ces structures que l'estimation des pertes de production est la plus élevée, 25% au lieu de 5% dans les régions tempérées (Parker et Fryer, 1975). De plus, les temps de travaux consacrés au désherbage ne sont pas négligeables ; ils absorbent 20 à 50% du temps de travail.

Dans ce contexte, les systèmes de culture avec couverture végétale permettent d'apporter un certain nombre de solutions aux contraintes rencontrées par les agriculteurs (Séguy et Bouzinac, 1999 ; Chabanne *et al*, 1999). Outre une meilleure gestion de la fertilité biophysico-chimique des sols et une réduction du temps et de la pénibilité des travaux, ils permettent de lutter efficacement contre les mauvaises herbes. En effet, ils reposent sur la création d'un couvert végétal temporaire ou permanent constitué à partir d'une espèce, le plus souvent fourragère, cultivée soit en rotation soit en association avec la culture commerciale. Or, à l'intérieur d'une communauté, les plantes interagissent de façon positive, neutre ou négative le plus souvent. Dans le cadre de la gestion des systèmes de culture, on recherchera simultanément, d'une part, une action inhibitrice de l'espèce utilisée comme couverture végétale sur la croissance des mauvaises herbes, et d'autre part, une action neutre, voire positive, sur la culture commerciale ou vivrière. Les processus mis en jeu dans la gestion de l'enherbement par un couvert végétal concernent deux principales voies :

- il peut s'agir d'une compétition, par suppression ou réduction de certains facteurs du milieu (eau, lumière, éléments minéraux) par une espèce partageant le même habitat ;
- ou il peut s'agir de phénomènes d'allélopathie, c'est à dire une libération d'une ou de plusieurs molécules chimiques ayant une action stimulante ou inhibitrice sur le fonctionnement de l'espèce voisine.

Les composés allélopathiques sont soit des produits du métabolisme, soit des produits déchets évacués dans la vacuole pour éviter une auto-intoxication.

L'émission des métabolites secondaires dans l'environnement peut se faire par différentes voies :

- Volatilisation : exsudation de composés volatiles par les parties vivantes de la plante, en particulier terpènes et éthylène.
- Lessivage : les parties aériennes subissent un lessivage par la pluie ou la rosée qui entraîne les substances solubles.
- Décomposition des débris : la décomposition des parties mortes de plante (litière à la surface du sol, racines) peut libérer des toxines soit directement, soit à la suite de la décomposition par les micro-organismes du sol.
- Exsudation racinaire : l'appareil racinaire vivant et intact excrète une grande variété de composés chimiques.

La plupart des composés allélopathiques sont des métabolites secondaires, c'est-à-dire ne participant pas aux fonctions de base de la plante (Rice, 1984) comme les composés phénoliques, terpénoïdes, alcaloïdes, stéroïdes, polyacétylènes et huiles essentielles. Toutefois certains métabolites primaires comme les acides palmitique et stéarique isolés à partir du sol jouent un rôle dans le phénomène d'allélopathie (Waller *et al.*, 1987 cité par Inderjit et Keating, 1999).

Les composés allélopathiques interfèrent sur les processus physiologiques, biochimiques et moléculaires des plantes cibles. Les symptômes les plus visibles de l'action de molécules sur un végétal sont les effets globaux tels que le dépérissement ou le déficit de croissance. L'utilisation de modèles simplifiés (cultures cellulaires ou extraits enzymatiques) suggère deux cibles principales, non exclusives l'une et l'autre (Dobremez *et al.*, 1995) :

- les hormones (auxine, gibbérélines, acide abscissique) qui contrôlent les grandes étapes du cycle vital de la plante (germination, croissance, floraison),
 - les membranes : perturbation de leur perméabilité.

La production de composés allélopathiques dépend des caractères morfo-physiologiques (densité des plantes, stade de développement...), des facteurs climatiques (température de l'air, humidité du sol) et des facteurs édaphiques (texture du sol, pH, carbone organique, nutriments, activité biologique...). En règle générale, les conditions de stress favorisent la production de composés allélopathiques. Les micro-organismes jouent aussi un rôle important car ils peuvent en modifier les effets. Ils peuvent dégrader les composés allélopathiques en produits plus ou moins toxiques.

Le but de cette expérimentation est de contribuer à la méthodologie de choix des plantes de couverture en fonction des mauvaises herbes et des plantes cultivées. Pour ce faire, on a choisi comme objet d'étude une plante productrice de biomasse, l'avoine, *Avena sativa*, souvent utilisée en rotation culturale dans les systèmes de culture avec couverture végétale et dont les effets allélopathiques ont été en partie déjà démontrés sur des cultures (blé, riz, avoine...) et des mauvaises herbes (*Chenopodium album*, *Papaver rhoeas*, *Sinapis arvensis*...). L'origine de l'émission des composés serait à la fois dans la décomposition des parties aériennes et dans les exsudats racinaires. Quelques composés ont été déjà identifiés : L-tryptophane, scopolétine (coumarine). Une synergie d'action entre plusieurs composés est aussi soupçonnée. L'avoine est principalement utilisée soit pour le paillage du sol à partir de paille importée, soit pour la constitution d'un mulch après dessiccation de la biomasse aérienne produite sur place. Ce sont donc d'abord les effets allélopathiques éventuels de la décomposition de la partie aérienne associée ou non à la biomasse racinaire qui sont étudiés dans cette expérimentation.

Matériel et méthodes

L'expérimentation a été conduite de la station du Cirad-Colimaçons dans les Hauts de l'Ouest de l'île de La Réunion de mai à juillet 2000.

Il s'agit donc d'étudier les éventuels effets allélopathiques de la partie aérienne de la variété d'avoine «Ebène» sur la croissance de quatre espèces de plantes cultivées à installation par graines :

- la tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill., variété Elko,
- le maïs, *Zea mays* L., variété SC509,
- le haricot, *Phaseolus vulgaris* L., variété Marlat,
- le riz, *Oryza sativa* L., variété FOFIFA 134 de type pluvial d'altitude,

et quatre espèces de mauvaises herbes :

- *Bidens pilosa* L., espèce tropicale à installation par graines,
- *Cyperus rotundus* L., espèce tropicale à installation par tubercules,
- *Plantago lanceolata* L., espèce tempérée à installation par graines,
- *Phalaris arundinacea* L., espèce tempéré à installation par rhizomes.

Les espèces cultivées ont été choisies pour leur importance en zone tropicale. Les mauvaises herbes ont été retenues pour leur écologie (tropicale et tempérée) et types de croissance et développement différents (multiplication par graines, tubercules et rhizomes, port dressé en rosette ou en touffe).

Il s'est agi d'étudier la croissance des huit espèces précédentes selon différents modes d'arrosage. Ceux-ci ont été réalisés avec les solutions suivantes préparées à partir des parties aériennes ou racinaires de l'avoine:

- Témoin T0: solution d'Hoagland,
- T1 : T0 + macération à 25 °C durant 24 heures de 50g de matière sèche (MS) de partie aérienne décomposée par litre d'eau,
- T2 : T0 + macération à 25 °C durant 24 heures de 50g de MS de partie racinaire par litre d'eau,

- T3 : T0 + macération à 25 °C durant 24 heures de 50g de MS de partie aérienne décomposée et 50 g de MS de partie racinaire par litre d'eau,
- T4 : T0 + macération à 35 °C durant 24 heures de 50g de MS de partie aérienne décomposée par litre d'eau,
- T5 : T0 + macération à 35 °C durant 24 heures de 50g de MS de partie racinaire par litre d'eau,
- T6 : T0 + macération à 35 °C durant 24 heures de 50g MS de partie aérienne décomposée et 50 g de MS de partie racinaire par litre d'eau.

Les températures de macération ont été choisies pour reproduire au mieux les conditions naturelles.

Les différentes espèces ont été cultivées à raison de deux plantes par pot de 1,3 l (pour la tomate, le maïs et le haricot) contenant 250 g de vermiculite, ou par godet de 80 ml contenant 15 g de vermiculite pour les autres espèces.

La germination et la levée des plantes ont été réalisées avec des arrosages à l'eau. Et, à partir d'une hauteur de plantes de 2 cm, les d'arrosages ont été réalisés avec les diverses solutions dont le pH a été préalablement ajusté à 7-7,5 (par l'acide nitrique ou la soude). Ils ont eu lieu tous les deux jours à raison de 100 ml et 10 ml de solutions T0 à T6, respectivement pour les pots et godets.

Le dispositif pour chaque espèce étudiée est de type bloc à 5 répétitions. Les solutions d'arrosage constituent les traitements (T0 à T6). Les observations ont concerné la croissance en hauteur mesurée tous les 15 jours ainsi que la production de biomasse (exprimée en matière sèche) aérienne et racinaire mesurée en fin d'expérimentation.

Résultats

D'une façon générale, de forts coefficients de variation ont été observés. De ce fait, les niveaux de différence pour atteindre la significativité au seuil de 5 % par le test de Newman-Keuls sont élevés.

Effets des solutions sur la croissance en hauteur des plantes

Les résultats obtenus sont résumés par le tableau I. Il traduit la hauteur des plantes en fin d'expérimentation suivant les différents traitements. Elles sont exprimées en pourcentage des hauteurs observées sur le témoin. Du fait du mode de croissance, les hauteurs sur *Cyperus rotundus* n'ont pas été observées.

Tableau I : Hauteurs des plantes mesurées en fin d'expérimentation (en % du témoin T0)

Table I : Plant height measured at the end of the trial (as a percentage of the control T0)

		Solutions d'arrosage					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Espèces	<i>Plantago</i>	47*	88	52*	33*	84	33*
	Tomate	60*	79	82	61*	92	52*
	Riz	60	93	28*	51*	82	52*
	<i>Bidens</i>	89	96	96	55*	105	63*
	Haricot	89	96	105	97	96	96
	<i>Phalaris</i>	115	87	118	106	105	123
	Maïs	116	88	112	111	99	113

* : Différences significatives par rapport au témoin T0 au seuil de 5 %

On observe des comportements différenciés selon les espèces. *Plantago lanceolata*, la tomate, le riz et *Bidens pilosa* sont significativement affectés par les solutions de macération des parties aériennes associées ou non aux parties racinaires de l'avoine (T1, T3, T4 et T6). Cependant le haricot, *Phalaris arundinacea* et le maïs ne présentent jamais une croissance en hauteur diminuée. Les traitements les plus marquants sont T4 et T6, c'est-à-dire ceux

issus des macérations à 35 °C. Il est intéressant de constater que, bien qu'il n'y ait pas de différences significatives avec le témoin, les solutions préparées à partir de la macération des parties aériennes de l'avoine semblent favoriser la croissance en hauteur du maïs et de *Phalaris arundinacea*.

Effets des solutions sur la production de biomasse

Les tableaux II, III et IV traduisent respectivement la production de biomasse (MS) des parties racinaires, aériennes et totales selon les traitements. Elle est aussi exprimée en pourcentages par rapport au témoin T0.

Tableau II : Biomasses racinaires (MS) mesurées en fin d'expérimentation (en % du témoin T0)

Table II : Root biomass (DM) measured at the end of the trial (as a percentage of the control T0)

		Solutions d'arrosage					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Espèces étudiées	<i>Plantago</i>	19*	77	22*	5*	70	4*
	tomate	111	90	191	126	127	98
	riz	68	115	57	111	101	140
	<i>Bidens</i>	35*	74	49*	16*	88	8*
	haricot	90	71	115	141	94	119
	<i>Phalaris</i>	71	78	82	58	90	58
	<i>Cyperus</i>	141	112	174	130	122	133
	maïs	233*	87	142	152	100	142

* : Différences significatives par rapport au témoin T0 au seuil de 5 %

Les biomasses racinaires de *Plantago lanceolata* et de *Bidens pilosa* sont fortement réduites sous conditions d'arrosage avec les solutions de macération des parties aériennes de l'avoine associées ou non aux parties racinaires (T1, T3, T4 et T6). Les traitements les plus marquants sont ceux issus des macérations à 35 °C. On notera une tendance à l'augmentation des biomasses racinaires de *Cyperus rotundus* et du maïs principalement avec les solutions de macération des parties aériennes d'avoine associées ou non avec les parties racinaires. La macération à 35°C semble moins marquer que celle à 25°C.

Tableau III : Biomasses des parties aériennes (MS) mesurées en fin d'expérimentation (en % du témoin T0)

Table III : Aerial part biomass (DM) measured at the end of the trial (as a percentage of the control T0)

		Solutions d'arrosage					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Espèces étudiées	<i>Plantago</i>	44*	69	53*	19*	84	19*
	tomate	61	58	109	71	83	56
	riz	128	62	54	128	65	91
	<i>Bidens</i>	96	84	100	50	107	35*
	haricot	103	92	107	107	102	104
	<i>Phalaris</i>	240	145	219	111	196	121
	<i>Cyperus</i>	285*	80	254*	285*	94	220
	maïs	215*	95	184*	208*	138	128

* : Différences significatives par rapport au témoin T0 au seuil de 5 %

Les biomasses des parties aériennes de *Plantago lanceolata* sont fortement réduites sous conditions d'arrosage avec les solutions de macérations de parties aériennes d'avoine associées ou non aux parties racinaires (T1, T3, T4 et T6). Les traitements les plus

marquants sont ceux issus des macérations à 35 °C. Sur *Bidens pilosa*, seules les macérations à 35°C des parties aériennes d'avoine associées aux parties racinaires (T6) ont un effet dépressif significatif. Sur *Cyperus rotundus* et le maïs, ces mêmes traitements ont un effet positif significatif sur le développement de la partie aérienne. On notera que l'ajout de systèmes racinaires d'avoine dans les solutions de macération (T3 et T6) semble diminuer cet effet positif.

Tableau IV : Biomasses totales (MS) mesurées en fin d'expérimentation (en % du témoin)

Table IV : Total biomass (DM) measured at the end of the trial (as a percentage of the control T0)

		Solutions d'arrosage					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
Espèces étudiées	<i>Plantago</i>	23*	75	27*	7*	72	6*
	tomate	94	80	165	109	113	85
	riz	90	95	55	117	88	122
	<i>Bidens</i>	48*	76	59	23*	92	13*
	haricot	96	81	111	125	98	112
	<i>Phalaris</i>	85	83	93	62	99	63
	<i>Cyperus</i>	170	105	194	161	116	151
	maïs	225*	90	160	176	116	136

* : Différences significatives par rapport au témoin T0 au seuil de 5 %

Les biomasses totales de *Plantago lanceolata* et *Bidens pilosa* sont fortement réduites sous conditions d'arrosage avec les solutions de macérations de parties aériennes d'avoine associées ou non aux parties racinaires (T1, T3, T4 et T6). Les traitements les plus marquants sont ceux issus des macérations à 35 °C (T4 et T6). Sur *Cyperus rotundus* et le maïs, ces mêmes traitements semblent montrer un effet positif sur la biomasse totale. Mais seul T1 montre une différence significative sur le maïs. On notera que l'ajout de systèmes racinaires d'avoine dans les solutions de macération (T3 et T6) semble diminuer cet effet positif sur leur biomasse racinaire.

Interprétation et discussion

On peut d'abord remarquer que les écarts ne sont pas souvent significatifs d'après les tests statistiques. Ceci est dû aux forts coefficients de variation d'où la nécessité d'augmenter le nombre de répétitions pour ce type d'expérimentation. La variabilité observée peut s'expliquer par les méthodes utilisées, les conditions d'expression des effets allélopathiques et la variabilité génétique du matériel végétal utilisé notamment au niveau des mauvaises herbes. Cependant, les différences significatives obtenues et les tendances observées permettent d'apporter des éléments de discussion.

Les macérations de parties racinaires d'avoine seules ne présentent jamais d'effets significatifs quelles que soient les espèces étudiées.

Par contre, les macérations de paille d'avoine associée ou non aux systèmes racinaires, ont des effets allélopathiques très forts sur *Plantago lanceolata* et *Bidens pilosa*. Et les macérations à 35°C semblent plus efficaces bien qu'il n'y ait pas de différences significatives entre les deux niveaux de température. Ce sont à la fois la hauteur, et les biomasses aériennes et racinaires de ces deux espèces qui sont nettement affectées par les macérations de parties aériennes.

Le dispositif n'a pas permis de confirmer les effets significatifs observés sur la hauteur du riz et de la tomate au niveau des biomasses racinaires et aériennes. Ce sont toujours les mêmes traitements T4 et T6 les plus marquants.

Le haricot semble indifférent aux traitements. De même, *Phalaris arundinacea*, malgré une tendance à l'augmentation de la biomasse aérienne, n'est pas significativement affecté par les diverses préparations. Cependant, en début de cycle, les traitements T4 et T6 montraient

un effet dépressif significatif sur la croissance des rhizomes. Ces effets se sont estompés par la suite.

Enfin, sur *Cyperus rotundus* et sur maïs, la production de biomasse aérienne est favorisée par les traitements T1, T3 et T4.

Ces observations montrent deux points importants :

d'une part, les macérations des parties aériennes d'avoine à des températures proches des conditions naturelles, donc représentant assez bien les conditions de décomposition d'un mulch, libèrent des éléments minéraux recyclés et disponibles pour les cultures suivantes. Ce phénomène illustre bien l'importance de la régulation des cycles biochimiques dans les systèmes de culture avec couverture végétale.

d'autre part, ces mêmes macérations libèrent des composés ayant des effets allélopathiques sélectifs en fonction des espèces cibles.

Suivant les conditions d'expérimentation et de culture, ces deux phénomènes peuvent interagir de façon différentielle. La résultante sera négative pour les espèces cibles fortement affectées par les effets allélopathiques (*Plantago lanceolata* et *Bidens pilosa*), et neutre ou positive pour les espèces peu ou pas sensibles à ces mêmes effets (le haricot, le maïs, *Cyperus rotundus* et *Phalaris arundinacea*). Pour la tomate et le riz, des expérimentations complémentaires sont nécessaires pour vérifier la sensibilité aux composés allélopathiques de l'avoine.

En ce qui concerne la lutte contre les mauvaises herbes, il faut ajouter aux effets allélopathiques de la paille d'avoine en décomposition, les éventuels effets allélopathiques des exsudats racinaires lorsque cette avoine a été produite sur place. Ces derniers ont déjà été mis en évidence (Almeida, 1985). De même, il faut tenir compte des phénomènes de compétition, principalement pour la lumière. De plus, étant donné la variabilité d'expression de l'allélopathie suivant les conditions du milieu physico-chimique, il convient de vérifier l'applicabilité des résultats obtenus en milieu contrôlé (serre) au niveau du milieu réel. Des expérimentations conduites en champ (Eveno, 2000) ont confirmé les résultats obtenus en serre en ce qui concerne l'excellent contrôle de *Plantago lanceolata* et *Bidens pilosa*. Par contre certaines adventices, comme *Raphanus raphanistrum* et *Oxalis sp.*, ne semblent pas perturbées par la présence du mulch d'avoine. Dans ce cas, et en l'absence de contrôle mécanique ou chimique, elles ont tendance à devenir envahissantes. Il conviendra alors d'en vérifier la compétitivité par rapport aux cultures.

Bibliographie

ALMEIDA F.S.D., 1985. Influencia da cobertura morta do planto direto na biologia do sol, IAPAR - Area de Herbologia, 41 : 103-144.

CHABANNE A., MICHELLON R., SEGUY L., TECHER P., 1999. La conception de systèmes agricoles durables à base de semis direct dans des couvertures végétales pour les Hauts de l'Ouest à la Réunion. In *Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture*, Actes de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 mars 1998. CIRAD, collection Colloques, Montpellier : 239-248.

DOBREMEZ J.F., GALLET C., PELLISSIER F., 1995. Guerre chimique chez les végétaux. *La Recherche* 279 (26) : 912-916.

INDERJIT and KEATING K.I., 1999. Allelopathy : principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Advances in Agronomy* 67 : 142-231.

MAILLET J., 1991. Control of Grassy Weeds in Tropical Cereals. In : Baker FWG and Terry PJ, eds *Tropical Grassy Weeds*. Wellesbourne, UK : CAB, CASAF Reports, Series no.2, 112-143.

PARKER C. et FRYER J.D., 1975. Lutte contre les mauvaises herbes occasionnant d'importantes réductions des ressources alimentaires mondiales. *Bulletin phytosanitaire de la FAO* 23,(3/4), 84-98.

RICE, E. L., 1984. *Allelopathy*. 2nd Edition, Academic Press, INC, Orlando, Florida.

SEGUY L., BOUZINAC S., 1999. Concepts et mise en pratique de modes de gestion agrobiologique et durable de la ressource sol, adaptés aux sols acides de la zone tropicale humide. In *Gestion agrobiologique des sols et des systèmes de culture*, Actes de l'atelier international, Antsirabe, Madagascar, 23-28 mars 1998. CIRAD, collection Colloques, Montpellier : 225-230.

WORSHAM A.D., 1991. Allelopathic cover crops to reduce herbicides input. *Proc. South Weed Sci. Soc.* 44 : 58-69.

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

LES SYSTEMES AVEC RECHARGE EN BIOMASSE



Roulage de l'avoine



Haricot dans paille desséchée
de *Panicum maximum*



Production de biomasse à partir de *Mucuna*

Maïs dans paille de canne à sucre



LES SYSTEMES AVEC COUVERTURE VIVE



Contrôle chimique du Lotier pour un semis en ligne de maïs ou une culture maraîchère



Protection du sol par le lotier dans une culture de géranium



Semis aux poquets dans Une couverture d'*Arachis pintoï*

Le Kikuyu contrôlé chimiquement dans le géranium





Arachis pintoï dans verger de palmiste (Saint-Philippe)



Protection des zones de captage grâce à l'*Arachis pintoï*



Arachis pintoï dans verger d'agrumes (Petite-Île)

Protection des sols par *Arachis pintoï*

Lotier dans verger de pêchers (hauts de l'Ouest)



LES SYSTEMES MIXTES

Géranium installé en rangs jumelés



Avec paillage du sol

Sans paillage du sol



Avec couverture de Ray-grass pour

- le paillage du sol
- Les fourrages



avec Kikuyu contrôlé par herbicide
avec Kikuyu contrôlé par fauche
(Débroussailleuse)

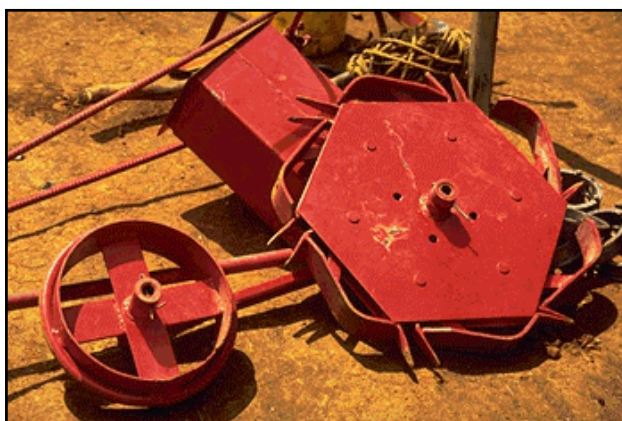
DU MATERIEL DE SEMIS DIRECT



La canne planteuse



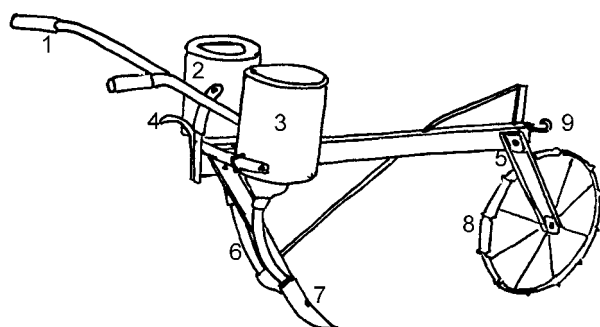
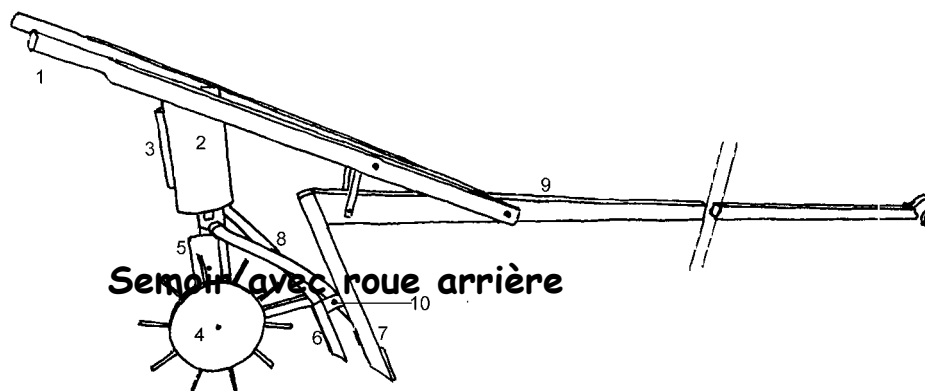
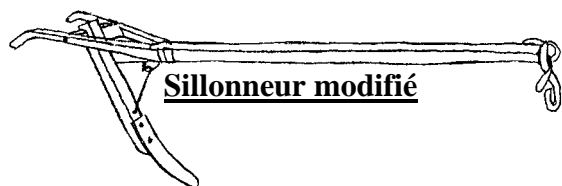
La roue semeuse



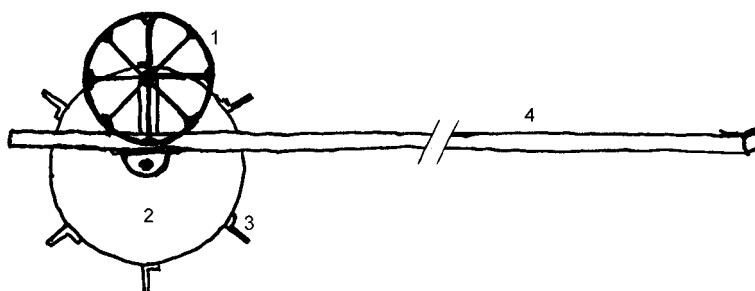
Un rouleau pour écraser et découper la biomasse



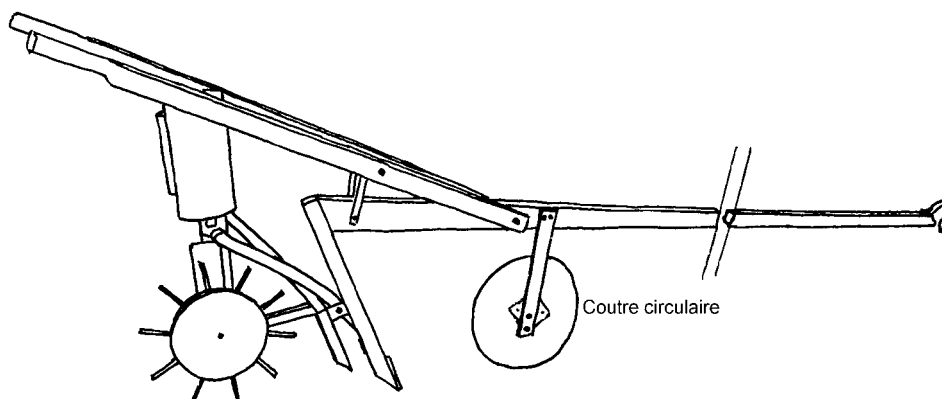
DU MATERIEL BRESILIEN



Rouleau réversible
(transport)
que l'on peut remplir
de sable ou d'eau

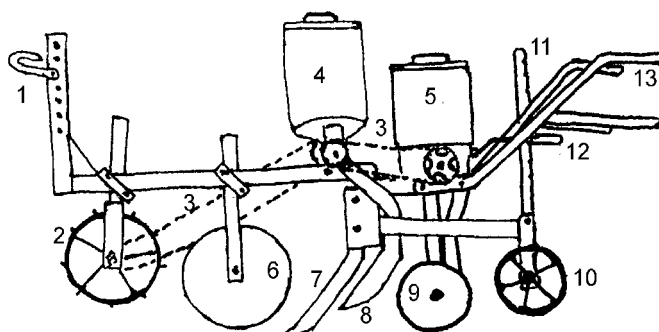


Semoir avec disque trancheur sur le timon



Semoir amélioré de semis direct

- 1 Crochet d'attelage
- 2 Roue d'entraînement
- 3 Chaînes de transmission
- 4 Distributeur d'engrais
- 5 Semoir à plateau
- 6 Coutre circulaire
- 7 Dent
- 8 Soc de placement de l'engrais
- 9 Disque semeur
- 10 Roue plumbeuse
- 11 Réglage de la profondeur de semis
- 12 Système d'embrayage
- 13 Mancherons



Un pulvérisateur

- 1 Rampe à buses
- 2 Potence permettant de régler la hauteur de traitement
- 3 Réservoir
- 4 Système de régulation
- 5 Mancheron
- 6 Système d'entraînement de la pompe
- 7 Vanne de commande

